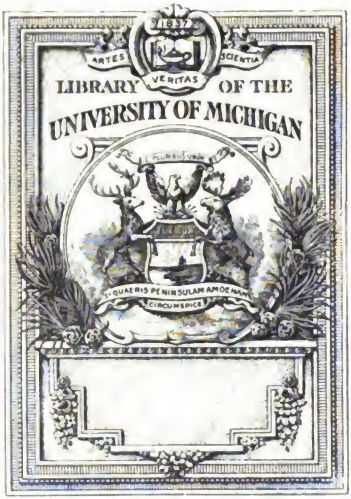
A 594912

Digitized by Google



Digitized by Google

2080 I-

DIE LEHRE

VON DER

REIBUNGSELEKTRICITÄT.

VON

PETER THEOPHIL RIESS

DR. PHIL., PROFESSOR, ORDENTL. MITGLIEDE D. K. AKADEMIE D. WISSENSCH. ZU BERLIN, MITGLIEDE D. PHYS.-ÖKON. GES. ZU KÖNIGSBERG, D. GES. NATURFORSCH. FREUNDE ZU BERLIN, D. SOC. D. SCIENC. NAT. DU CANTON DE VAUD UND D. PHYSIK. VEREINS ZU FRANKFURT.

ERSTER BAND.

MIT SIEBEN KUPFERTAFELN.

BERLIN,

BEI AUGUST HIRSCHWALD.

1853.

Digitized by Google

Vorwort.

In jedem Theile der Naturlehre ist es nöthig, von Zeit zu Zeit abzuschliefsen, das vorhandene Material zu sichten und so unter sich zu verbinden, dafs eine leichte Uebersicht der Thatsachen und eine erweiterte Einsicht in die Wirkungsweise der betrachteten Naturkraft möglich wird. Ein solcher Abschlufs, wenn er gewissenhaft nach den Quellen gemacht werden, und nicht in der Wiederholung eines früheren Abschlusses mit Hinzufügung neuer Versuche bestehen soll, ist für die Reibungselektricität sehr schwierig, und selten versucht worden. Die Schwierigkeit entsteht zum Theil durch die aufserordentliche Fülle eines Materials von dem verschiedensten Werthe, hauptsächlich durch den Mangel einer durchgreifenden Theorie, nach welcher die Versuche geordnet werden könnten, und durch die geringe Anerkennung, welche die wenigen sicher begründeten Sätze der Elektricitätslehre genieſsen. Ich erinnere nur daran, dafs das schon im vorigen Jahrhundert durch Versuche auf das Klarste dargelegte, später durch die Rechnung bestätigte, Gesetz der Influenz noch in neuerer Zeit verkannt, und von mehreren Seiten her auf das Wunderlichste verwirrt werden konnte. — Ich habe mir das angedeutete, hier ausgeführte Unternehmen nicht leicht gemacht; der mit dem Gegenstande Vertraute wird erkennen, dafs nach sorgfältiger Prüfung der vorhandenen elektrischen Thatsachen, von diesen hier nur solche aufgenommen sind, aus welchen sich ungezwungen ein Schlufs auf die Wirkungsweise der Elektricität machen liefs, und mir höchstens eine, fast unvermeidliche, Parteilichkeit in Bezug auf meine eigenen Untersuchungen vorwerfen können. Bei den

Digitized by Google

Folgerungen aus den Versuchen glaube ich mit der nöthigen Vorsicht verfahren zu sein, und nur solche Hypothesen gebraucht zu haben, die ihre Nützlichkeit bereits gezeigt haben, indem sie zur Auffindung neuer Thatsachen führten, und ferner zeigen in der leichten Uebersicht, die sie über diese, oft sehr verwickelten, Thatsachen gewähren.

Darf man demzufolge hier weder eine Sammlung aller elektrischen Versuche, noch eine Geschichte der Elektricität erwarten, so wird man diese Geschichte doch in so weit berücksichtigt finden, dafs bei jeder ausgezeichneten Klasse von Erscheinungen der, häufig in Vergessenheit gerathene, zuerst angestellte Versuch angeführt, und hie und da eine historische Untersuchung eingestreut ist, die mir von Interesse schien, und durch die Mangelhaftigkeit des bereits darüber Vorhandenen geboten wurde. Von den Citaten habe ich die durch eigene Ansicht gewonnenen mit einem Asterisk bezeichnet, und bei Aufzeichnung und Druck derselben besondere Sorgfalt verwendet. Dafs ich mich streng in dem Kreise gehalten habe, den der Titel andeutet, daher nur solche elektrische Versuche zur Sprache gebracht habe, bei welchen die, der Reibungselektricität eigene, Divergenz des Elektroskops bemerkt wird, ist eine Folge meiner schon öfter ausgesprochenen Meinung, nach welcher zur Zeit nur durch eine, nach dem Kriterium der Prüfungsinstrumente, getrennte Behandlung der Elektricität, des Magnetismus, des Galvanismus und der verschiedenen Inductionsströme der Wissenschaft wahrhaft genützt, und eine fruchtbringende Vereinigung dieser Zweige Eines Stammes vorbereitet werden kann.

Berlin, den 5. Januar 1853.

Riess.

Digitized by Google

Inhalt

des

ersten Bandes.

Seite

Einleitung.

Der elektrische Zustand.

Erstes Kapitel. Erkennung des elektrischen Zustandes 3
Kennzeichen der Elektricität 5
Entgegengesetzte Elektricitäten 7
Bewegungen elektrisirter Körper 11
Erregung der Elektricität durch Reibung 22
Zweites Kapitel. Mittheilung und Leitung d. Elektricität 24
Elektrisches Leitungsvermögen. Entladungszeit der Elektricität . . 25
Leiter und Nichtleiter der Elektricität 27
Einfluss der Wärme auf das Leitvermögen der Isolatoren 43
Drittes Kapitel. Maafs des elektrischen Zustandes . . . 49
Die Elektricitätsmenge 49
Die elektrische Dichtigkeit 52
Die Elektroskope 54

Erster Abschnitt.

Wirkungen elektrisirter Körper während ihrer Isolation.

Erstes Kapitel. Die elektrische Torsionswage 69
Beschreibung der Wage 69
Empfindlichkeit der Wage 76
Das Torsionselektroskop und Elektrometer 84
Zweites Kapitel. Abstofsung und Anziehung elektrische Körper nach Entfernung und Elektricitätsmenge . . 89
Abstofsung elektrisirter Kugeln nach der Entfernung 90
Anziehung zweier Kugeln nach der Entfernung 97

Digitized by Google

Seite

Einfluſs der Elektricitätsmenge auf die elektrische Bewegung . . . 101
Messung von Elektricitätsmengen in der Torsionswage 102
Drittes Kapitel. Veränderung der Elektricitätsmenge mit der Zeit 106
Zerstreuung der Elektricität in die Luft 106
Veränderlichkeit des Zerstreuungscoefficienten 114
Elektricitätsverlust durch isolirende Stützen 117
Viertes Kapitel. Anordnung der Elektricität auf einzelnstehenden Leitern 126
Indirecte Bestimmung der Elektricitätsmenge 126
Messung von Elektricitätsmengen mit Einem Prüfungskörper 128
» » » » *gepaarten Prüfungskörpern* . . . 134
Veränderlichkeit der Gröfse p bei den Messungen 138
Unabhängigkeit der elektrischen Anordnung von der Masse d. Leiters 147
Anordnung der Elektricität auf einfachen Leitern 152
Anordnung auf zusammengesetzten Leitern 159
Elektrische Anordnung auf Kugelreihen 160
Elektrische Anordnung auf Kugel und Cylinder 173
Fünftes Kapitel. Die elektrische Influenz oder Vertheilung 177
Princip der Influenz. Die Influenzelektricitäten 178
Menge der Influenzelektricitäten 184
Elektrische Dichtigkeit einzelner Punkte influencirter Leiter 189
Influenzelektricität auf Nichtleitern 194
Sechstes Kapitel. Einfache Folgen und Anwendungen der Influenz 198
Anziehung neutraler Leiter 199
Influenz auf elektrisirte Leiter, Anziehung gleichnamig el. Körper . 203
Mittheilung der Elektricität 207
Anwendung der Influenz bei Elektroskopen 212
Elektricität der Körper im natürlichen Zustande 215
Siebentes Kapitel. Berechnung der elektrischen Anordnung auf Leitern 220
Anordnung auf einfachen und zusammengesetzten Leitern 224
Anordnung auf zwei Kugeln, die unter gegenseitigem Einflusse stehen 230
Zwei Kugeln, die in sehr grofser Entfernung von einander stehen . . . 231
Zwei Kugeln, deren Halbmesser und Entfernung wie 1 : 3 : 5 234
Anordnung auf zwei Kugeln, die in kleiner Entfernung von einander stehen 240
Wirkung eines Haufens elektrisirter Körper 243
Tafeln über die Anordnung auf zwei Kugeln 245

Digitized by Google

Seite
Achtes Kapitel. Von der Ansammlung der Elektricität . 247
Anordnung der Elektricität auf Kegeln und Spitzen 248
Wirkung der Spitzen an elektrisirten Körpern 254
Die elektrischen Wirkungen brennender Körper 261
Wirkungen glimmender Körper 261
Wirkungen flammender Körper 266
Störung der Wirkung brennender Körper 270
Die Elektrisirmaschine 272
Einzelne Theile der Elektrisirmaschine 284
Der Elektrophor 291
Theorie des Elektrophors 293
Anfertigung desselben 301
Neuntes Kapitel. Der künstliche Ansammlungsapparat . 305
Verminderte Dichtigkeit an der Collectorscheibe durch Einfluſs der Condensatorscheibe 307
Elektricitätsmenge der Condensatorscheibe nach der Entfernung der Scheiben 318
Entladung und Schlagweite des Ansammlungsapparates 324
Anwendung des Ansammlungsapparates 330
Der Condensator 332
Der Ladungsapparat 341
Elektroskopische Anzeige der Ladung 360

Zweiter Abschnitt.

Wirkungen elektrisirter Körper während ihrer Entladung.

Erstes Kapitel. Der Entladungsstrom und seine Bedingungen 367
Maafs der Elektricitätsmenge und Dichtigkeit in der Batterie . . . 369
Entladungszeit der Batterie 378
Zweites Kapitel. Die erwärmende Wirkung d. Entladung 386
Der Apparat 386
Erwärmung im Schliefsungsbogen nach Gröfse u. Ladung d. Batterie 398
Erwärmung nach der Beschaffenheit des Schliefsungsbogens . . . 402
Erwärmung verschiedener Stellen des Bogens 419
Bestimmung der Verzögerungskraft und des Erwärmungsvermögens einiger Metalle 425
Abhängigkeit des Erwärmungsvermögens von der Verzögerungskraft 432
Grundgesetz der Erwärmung im einfachen Schliefsungsbogen . . . 433
Wärmeerregung in einem verzweigten Schliefsungsbogen 436

Digitized by Google

Seite

Formeln über die elektrische Erwärmung 451
Theoretische Ableitung einiger Wärmeformeln 455
Empfindlichkeit des elektrischen Luftthermometers 462
Drittes Kapitel. Die magnetische Wirkung der Entladung 465
Ablenkung der Magnetnadel durch den Schliefsungsbogen 468
Magnetisirung von Stahlnadeln 481
Die elektrodynamische Wirkung des Schliefsungsbogens 503
Tafeln 510
Nachweisung der Figuren 516

Digitized by Google

Einleitung.

Der elektrische Zustand.

Digitized by Google

Digitized by Google

Erstes Kapitel.

Erkennung des elektrischen Zustandes.

Alle Körper können auf kurze Zeit in einen Zustand ver- 1
setzt werden, in welchem sie eigenthümliche Wirkungen äufsern, die weder früher noch später an ihnen bemerkt werden. Die leichteste Art, feste Körper in diesen vorübergehenden Zustand zu versetzen, besteht darin, dafs man sie unter gewissen Bedingungen an einander reibt; der erste Körper, an dem diese Folge der Reibung wahrgenommen wurde, war der Bernstein, von den Griechen *Elektron* genannt. Es wurde nämlich bemerkt, dafs ein mit den Fingern geriebenes Bernsteinstück Strohhalme und andere leichte Körper anzieht, und diese an ihm einige Zeit lang haften bleiben. Mehr als zwei tausend Jahre war dies die einzige bekannte Thatsache über jenen Zustand, und erst gegen Ende des sechszehnten Jahrhunderts ist von Gilbert der Grund einer näheren Kenntnifs desselben gelegt worden, die jetzt einen der reichsten Abschnitte der Physik bildet. Die erste Wahrnehmung dieses Zustandes gab Veranlassung, ihn mit dem Namen des *elektrischen* zu belegen, und die in ihm thätige Naturkraft *Elektricität* oder auch, mit Andeutung der leichtesten Art ihrer Erregung, *Reibungselektricität* zu nennen.

Es ist öfter versucht worden, den Namen der wunderbaren 2
Kraft, deren Wirkungen und Gesetze hier abgehandelt wer-

Digitized by Google

[2] den sollen, von dem Vorwurfe der Zufälligkeit zu befreien. Kratzenstein[1]) führt das semitische Wurzelwort *elek* an, das die Bedeutung festkleben hat, von dem *elektron* gebildet worden. Buttmann[2]) leitet *elektron* von dem griechischen ἕλκειν (ziehen) ab, so dafs ἤλεκτρον oder, richtiger gebildet, ἕλκτρον den Anzieher, Zugstein bedeuten würde. Hiernach wäre die Elektricität nach einem Körper genannt, der selbst seinen Namen der an ihm bemerkten elektrischen Eigenschaft verdankt, und in dem Namen der Naturkraft würde ihre Wirkung angedeutet sein, kleine Körper aus der Entfernung anzuziehen oder festzuhalten. Auch in anderen Sprachen hat man in der Benennung des Bernsteins eine Andeutung seiner anziehenden Kraft zu finden geglaubt. Seine persische Bezeichnung *Karabah* ist mit Strohräuber übersetzt worden, was an den Namen *harpax* erinnert, den, nach Plinius, die syrischen Frauen dem Bernstein gaben, weil aus ihm verfertigte Spindelzapfen Blätter, Strohhalme und die Fransen der Kleider anzogen[3]). Dänisch heifst der Bernstein *rav*, schwedisch *raf*, isländisch *rafr*, Benennungen, die an ein Wurzelwort mit der Bedeutung des Raubens, Raffens erinnern[4]). Nach Gilbert[5]) ist indefs die Ableitung des persischen, nach Jacob Grimm die des griechischen und nordgermanischen Namens zweifelhaft. — Beiläufig ist zu merken, dafs im Deutschen der Bernstein auch Agtstein genannt worden ist. Im funfzehnten und sechszehnten Jahrhundert wurde, wie Karl Heyse nachgewiesen hat, agatstein, agstein, aidstein, theils für Bernstein, theils für den, gleichfalls elektrischen und brennbaren Gagat (bituminöse Steinkohle) gebraucht.

---

[1]) *Theoria electricitatis.* Halae* 1746. *p.* 1.

[2]) *Mythologus,* od. gesamm. Abhandl. v. Buttmann.* Berl. 1829. 2. 337.

[3]) *Plin. histor. natur. lib.* 37. §. 11. *edit. Franz.* Lips.* 1791. *tom.* 10. *p.* 30.

[4]) Werlauff Beitrag zur Geschichte des nordischen Bernsteinhandels.* Schlesw. 1840. 30.

[5]) *Gilbert. de magnete .... physiologia nova.* Londini* 1600. *p.* 47.

Digitized by Google

Kennzeichen der Elektricität. Das Elektroskop.

Um den elektrischen Zustand zu charakterisiren und si- 3
cher erkennen zu lassen, hat man eine der Wirkungen der Elektricität hervorzuheben und als Kennzeichen derselben aufzustellen. Diese Wirkung mufs möglichst einfach sein, sie mufs der Elektricität ausschliefslich zugehören und aufserdem eine leichte unzweideutige Beobachtung gewähren. Die zuerst bekannte Anziehung leichter Körper entspricht diesen Anforderungen nicht; sie ist, wie sich später zeigen wird, eine zusammengesetzte Wirkung, sie kommt in einigen Fällen auch dem magnetischen Zustande zu, und ihre Beobachtung ist unsicher, da ein schwach elektrischer Körper den anzuziehenden Stoffen sehr nahe gebracht werden mufs, und eine Klebrigkeit des Körpers leicht eine scheinbare Anziehung verursacht. Wir haben deshalb eine andere elektrische Wirkung zu wählen.

Besteht ein Körper aus mehreren Theilen, die gegen einander beweglich sind, so zeigt sich, wenn der Körper elektrisch geworden, ein deutliches Entfernen dieser Theile von einander. Eine Locke aus Haaren, oder Fäden von Seide, Wolle, Glas, Metall, Leinen, sträubt sich, wenn man sie elektrisirt, indem je zwei nächste Fäden sich von einander entfernen. Hängt man neben einem Körper irgend eines Stoffes eine kleine Kugel an einem Faden dergestalt auf, dafs sie den Körper berührt, so wird die Kugel abgestofsen, wenn der Körper elektrisch ist, und zwar um so weiter abgestofsen, je stärker der elektrische Zustand ist. Mit der Abnahme dieses Zustandes, die nach den Umständen schneller oder langsamer eintritt, sinkt die Kugel in ihre erste Lage zurück. Die gegenseitige Abstofsung der Theile eines Körpers ist ein untrügliches Kennzeichen seines elektrischen Zustandes, und soll daher hier als charakteristisches Merkmal der Elektricität angenommen werden. Jeder Körper wird, wenn er danach eingerichtet ist, an ihm selbst seinen elektrischen Zustand anzeigen; aber es wäre zu umständlich, oft auch nicht thunlich, jedem Körper, den man auf Elektricität zu untersuchen wünscht, die dazu nöthige Einrichtung zu geben. Man bedient sich deshalb derselben Aushülfe, die man in der Wärmelehre gebraucht. Um den

Digitized by Google

[3] Wärmezustand eines Körpers zu constatiren, ist es nicht nöthig, seine Ausdehnung zu bestimmen, man beobachtet statt dieser die Ausdehnung eines Körpers, der ein- für allemal zu diesem Zwecke bequem vorgerichtet ist. In gleicher Weise beobachtet man, um zu sehen, ob ein gegebener Körper elektrisch sei, den elektrischen Zustand besonders eingerichteter Körper, welche ***Elektroskope*** genannt werden.

4 Die Anwendung eines Elektroskops wird durch die Erfahrung deutlich, die hier von den Eigenschaften der Elektricität vorweg genommen wird, dafs ein Metallstück, durch eine Stütze aus Glas oder Harz gehalten, elektrisch wird, wenn man es kürzere oder längere Zeit mit einem elektrischen Körper in Berührung setzt. Ein Elektroskop ist in folgender einfachen Weise anzufertigen. Ein kurzer dicker Messingdrath wird an einem Ende platt geschlagen und daselbst mit zwei horizontal nahe an einander liegenden Löchern durchbohrt, in welche zwei sehr feine, gerade, ungefähr 1 Zoll lange Silberdräthe eingehängt werden. Schmelzt man nun an dem dicken Drathe einen Schellackstab fest, und befestigt diesen so, dafs die beweglichen Silberdräthe vertical hangen (Fig. 1.), so ist das Elektroskop zum Gebrauche fertig. Es sei zum Beispiel der elektrische Zustand eines Bernsteinstückes zu untersuchen, das mit einem wollenen Tuche gerieben worden. Man lasse den Bernstein dem Ende *a* des Elektroskops entlang gleiten, so dafs dies Ende mit vielen Punkten des Bernsteins in Berührung kommt; das ganze Elektroskop wird hierdurch elektrisch, die Dräthe *b b* entfernen sich aus der parallelen Lage und bilden einen Winkel, der auch nach Fortnahme des Bernsteins besteht. Man nennt dies das ***Divergiren*** des Elektroskops, und mifst die Divergenz oder den Winkel, den die Dräthe mit einander bilden, an einem Gradbogen oder einer willkührlichen Skale. Die Divergenz des Elektroskops ist, wie sich leicht bemerken läfst, nach den Umständen verschieden; sie ist desto stärker, je stärker das Bernsteinstück gerieben, und in je kürzerer Zeit nach dem Reiben es an das Elektroskop angelegt worden ist. Das Elektroskop giebt also nicht nur das Vorhandensein des elektrischen Zustandes, sondern auch seine gröfsere oder geringere Stärke an. Es kann indefs hier

Digitized by Google

gleich bemerkt werden, dafs nur eine ungefähre Schätzung dieser Stärke verlangt werden kann, und dafs die Divergenzen des Elektroskops, auch bei seiner vollkommensten Einrichtung, niemals ein genaues Maafs eines elektrischen Zustandes abgeben. Um die Dräthe des Instruments vor Luftströmung zu schützen, umgiebt man sie mit einem weiten Glascylinder. [4]

Bei der allgemeinen Anwendung des Elektroskops ist es gerathen, das charakteristische Merkmal der Elektricität, wie an dem elektrischen Körper selbst, auch noch mit Zuziehung dieses Instruments anzugeben. Wir werden sagen, dafs ein Körper sich im elektrischen Zustande befindet, wenn er ein Elektroskop in Bewegung zu setzen vermag.

Die entgegengesetzten Elektricitäten.

Alle festen Körper sind fähig, unter gewissen Bedingungen, die später aufgeführt werden, den elektrischen Zustand anzunehmen. Wird der elektrische Zustand verschiedener Körper für sich betrachtet, so findet sich kein Unterschied an ihnen; jeder Körper, unter welchen Bedingungen er auch elektrisirt sei, bewegt das Elektroskop auf gleiche Weise. Aber ein merkwürdiger Unterschied macht sich zwischen den verschiedenen elektrischen Zuständen bemerklich, wenn man sie mit einander in Konflikt bringt. Dies geschieht in der Weise, dafs man einen elektrisirten Körper an einem Elektroskope prüft, das bereits durch einen andern Körper eine Divergenz erhalten hat. Es sei das Elektroskop durch geriebenen Bernstein elektrisirt, so dafs seine Dräthe divergiren; man reibe ein anderes Bernsteinstück und lege es an den Zuleiter des Elektroskops, so wird die frühere Divergenz verstärkt werden oder unverändert bleiben, aber nicht abnehmen. Derselbe Erfolg tritt ein, wenn statt des Bernsteins Schwefel, Schellack, Siegellack mit einem wollenen Zeuge gerieben, und an das bereits divergirende Elektroskop angelegt werden. Hat man aber ein Stück Glas, einen Topas, Diamant, Kalkspath gerieben, und legt diese an das Elektroskop an, so nimmt seine Divergenz ab und kann gänzlich aufgehoben werden. Fährt man fort, das Elektroskop durch die letztgenannten Stoffe zu elek- 5

Digitized by Google

[5] trisiren, so tritt eine neue Divergenz ein, und diese wird ihrerseits vermindert, wenn man geriebenen Bernstein, Schwefel, Schellack an den Stift des Elektroskops anlegt. Alle elektrisirten Körper bringen eine Klasse dieser Wirkungen hervor; entweder sie vermindern die Divergenz des Elektroskops, die durch geriebenen Bernstein u. s. w. hervorgebracht ist, und sie verstärken die durch Glas u. s. w. erzeugte Divergenz, oder sie bringen den entgegengesetzten Erfolg hervor. Hieraus erhellt das Dasein zweier unterschiedenen elektrischen Zustände, welche die Eigenschaft haben, sich gegenseitig aufzuheben. Das Elektroskop, welches durch Glas in den einen elektrischen Zustand gebracht worden ist, wird unelektrisch, wenn man ihm durch Bernstein oder Harz den andern elektrischen Zustand giebt, und kann erst, nachdem es den ersten Zustand verloren hat, den zweiten annehmen. Würde man neben einem elektrischen Stücke Bernstein ein Stück Glas, das sich in einem stärkeren elektrischen Zustande befindet als jenes, an das Elektroskop anlegen, so läfst sich der Erfolg nach dem Vorhergehenden leicht vorhersehen. Die Elektricität des Glases wird nicht allein die Elektricität des Bernsteins im Elektroskope aufheben, sondern das Instrument selbst laden können. Die Divergenz des Elektroskops wird aber schwächer sein, als wenn das geriebene Glas ohne den Bernstein angewendet worden wäre. Die beiden elektrischen Zustände verhalten sich ganz wie entgegengesetzte Gröfsen in der Algebra, die auch, zusammengethan, den Unterschied ihrer Quanta als Resultat geben. Man nennt deshalb die elektrischen Zustände einander entgegengesetzt, und bezeichnet die Ursachen derselben, als *positive* und *negative* Elektricität, mit den algebraischen Zeichen + und —. Die Zweckmäfsigkeit dieser Bezeichnung beruht nicht allein auf der erwähnten Aehnlichkeit der beiden Elektricitäten mit den algebraisch entgegengesetzten Gröfsen, sondern wird sich später noch schlagender herausstellen, wenn die Stärke der elektrischen Zustände auf numerische Werthe gebracht wird.

6 Erkennung der positiven und negativen Elektricität. Da die beiden Elektricitäten nur durch ihre Entgegensetzung charakterisirt sind, so blieb es völlig gleichgültig,

Digitized by Google

welche von ihnen als positive angenommen wurde, und ist jetzt [6]
nur durch den Gebrauch bestimmt. Man war früher der Meinung, dafs jedem Körper nur Eine Elektricitätsart zukomme, und unterschied die beiden Elektricitäten so, dafs die Elektricität des mit einem leinenen oder wollenen Zeuge geriebenen Glases, *Glaselektricität*, die andere Elektricitätsart, welche durch Reibung eines Harzes mit wollenem Zeuge frei wird, *Harzelektricität* genannt wurde, und diese Ausdrücke sind auch später gebraucht worden, als jene Meinung schon als irrig erkannt war. Bei Einführung der algebraischen Bezeichnung ist die Glaselektricität die *positive* (mit dem Zeichen +), die Harzelektricität die *negative* Elektricität (mit dem Zeichen —) genannt worden. In neuester Zeit hat man gefunden, dafs die positive Elektricität nicht unzweideutig bestimmt ist, da eine geringe, nicht sichtbare, Aenderung der Oberfläche das Glas befähigt, durch Reibung mit Wolle, Leinen oder Leder negativ elektrisch zu werden. Wir nehmen deshalb eine andere speciellere Erregung der Elektricität, um die beiden Elektricitäten mit Sicherheit zu bestimmen. Es werde ein weiches, an einem Glasstiele befestigtes Stück Leder mit Fett und einem fein gepulverten Amalgam bestrichen, das aus Quecksilber, Zink und Zinn besteht, und unter dem Namen Kienmayersches Amalgam käuflich ist. Reibt man mit diesem amalgamirten Leder ein trockenes und reines Glas, so wird die am Glase erregte Elektricität die positive, die am Leder entwickelte die negative genannt.

Durch diesen Versuch kann man die Elektricitätsarten unzweideutig bestimmen, in Fällen aber, wo das amalgamirte Leder nicht zur Hand ist, sich einer Glas- und einer Siegellackstange bedienen. Glas mit Wolle gerieben wird gewöhnlich positiv, Siegellack mit Wolle gerieben, negativ elektrisch. Mit Hülfe solcher vorläufig elektrisirten Körper wird die unbekannte Elektricitätsart eines Körpers leicht bestimmt. Man elektrisirt ein Elektroskop durch den zu untersuchenden Körper, und legt den (positiv) elektrisirten Glasstab an dasselbe an; nimmt die Divergenz des Instruments zu, so ist man gewifs, dafs der Körper positiv, nimmt sie ab, dafs er negativ elektrisch ist. Die entgegengesetzten Elektricitätsarten werden

Digitized by Google

[6] aus gleichen Aenderungen der Divergenz geschlossen, wenn statt des Glasstabes eine (negativ) elektrisirte Siegellackstange gebraucht wird. Oft ist es nicht thunlich, das Elektroskop durch den zu untersuchenden Körper zu einer, wie es nöthig ist, bedeutenden Divergenz zu laden, alsdann wird das Elektroskop positiv oder negativ geladen, und seine Bewegung bei Anlegung des zu prüfenden Körpers beobachtet. Ist das Elektroskop positiv elektrisch und seine Divergenz nimmt bei Anlegung des Körpers zu, oder ist es negativ und seine Divergenz nimmt ab, so ist der Körper positiv elektrisch; geschehen die Aenderungen der Divergenz in entgegengesetztem Sinne, so ist er negativ. Bei der letzten Prüfungsart ist indefs Vorsicht nöthig. Die Divergenz eines Elektroskops wird nämlich nicht allein durch Anlegung eines Körpers vermindert, wenn dieser eine der seinigen entgegengesetzte Elektricitätsart besitzt, sondern auch, wenn er vor Anlegung an das Instrument gänzlich unelektrisch war. Unzweideutig hingegen ist die Vermehrung der Divergenz. Hat man daher ein Elektroskop positiv elektrisirt, und der angebrachte Körper vermindert die Divergenz, so ist nur daraus zu schliefsen, dafs der Körper nicht positiv elektrisch sei; man hat das Instrument negativ zu elektrisiren, wo dann die Divergenz vermehrt wird, wenn der Körper negativ elektrisch ist.

7 Die elektrische Spritze. Bei diesen Prüfungen zur Erkennung der Elektricitätsart eines Körpers hat man also die Elektrisirung des Elektroskops häufig zu ändern, und zwar stets bis zu einer nicht zu grofsen Divergenz zu bewirken. Dies hat Schwierigkeit, wenn die Reibung, durch welche das Elektroskop elektrisirt wird, mit freier Hand vollführt wird. Man bedient sich dazu mit grofser Bequemlickeit eines auch bei andern Versuchen anwendbaren kleinen Instruments, das in Figur 2 abgebildet, seiner Form wegen mit dem Namen der elektrischen Spritze bezeichnet wird. Eine starke, etwa $6\frac{1}{2}$ Zoll lange, $8\frac{1}{2}$ Linie weite, Glasröhre ist an den Enden mit den Messingfassungen *p* und *n* versehen, von welchen die letzte Fassung durchbohrt ist, um einen Messingstab mit schwacher Reibung durch sich hindurchzulassen. Dieser Stab trägt den Metallstempel *a*, über den eine mit Kienmayerschem Amal-

Digitized by Google

gam bedeckte Ledermanschette gezogen ist. Der Stempel ist [7]
an einer Seite der Länge nach durchbohrt, in seiner Mitte ist ein zolllanges Glasstäbchen eingekittet, das den Metallstern *b* trägt, der die Glaswand beinahe berührt; der Stern ist durch einen spiralförmigen Messingdrath mit der Fassung *p* verbunden. Der Messingstab, durch einen zolllangen Glasstab *f* mit der Handhabe *d* verbunden, hat die Länge der Glasröhre. Beide Glasstäbe und die Aufsenfläche der Röhre sind mit geschmolzenem Schellack überzogen. Das Instrument wird anfangs stets in die Lage gebracht, dafs der Stempel der Fassung *p* zunächst liegt. Um ein Elektroskop positiv zu elektrisiren, hält man die Spritze bei der Fassung *n*, legt *p* an den Stift des Elektroskops und zieht den Stempel auf; je weiter man den Stempel fortbewegt, desto gröfser wird die Divergenz des Elektroskops. Eine Divergenz mit negativer Elektricität wird erhalten, wenn man die Spritze an der Fassung *p* hält, *n* an das Elektroskop anlegt, und den Stempel wie früher aufzieht. In dieser Weise lassen sich positive und negative Divergenzen von bestimmter Gröfse mit Leichtigkeit erhalten.

Die Erkennung der Elektricitätsart eines Körpers ist leicht, wenn der Körper stark elektrisch, aber sie wird schwer und unsicher, wenn jener nur schwach elektrisch ist. Alsdann mufs man zu Mitteln greifen, diese Elektricität zu verstärken, von welchen erst später die Rede sein kann, oder man geht von dem einfachen Elektroskope ab, und vollführt die Prüfung an einem zusammengesetzten Elektroskope, das unmittelbar die Art der untersuchten Elektricität angiebt. Ich werde dies Instrument beschreiben, nachdem die Erfahrungen über die Bewegungen elektrisirter Körper aufgeführt worden.

Bewegungen elektrisirter Körper.

Eine erbsengrofse Kugel *a* (Fig. 3.) aus Metall oder 8
Hollundermark, werde an einem, mehrere Zoll langen Seidenfaden aufgehängt, und mit einem positiv elektrischen Körper berührt (mit einem geriebenen Glasstabe oder der Fassung *p* der elektrischen Spritze). Die Metallkugel wird dadurch, wie

Digitized by Google

[8] wir wissen, positiv elektrisch, gerade so, als ob sie aus Glas bestände und gerieben worden wäre. Nähert man nun diese Kugel seitlich einem positiv elektrischen Körper, so weicht sie von der Verticallinie ab, indem sie sich von dem Körper entfernt. Derselbe Erfolg tritt ein, wenn der Kugel, nach Berührung mit einem negativ elektrischen Körper, dieser Körper von der Seite genähert wird. Es ist einleuchtend, dafs in beiden Fällen der genäherte Körper, wenn er frei beweglich ist, sich von der Kugel entfernen mufs. Stellt man daher zwei Exemplare der Vorrichtung Fig. 3 dicht neben einander, und elektrisirt man ihre Kugeln gleichartig, so entfernen sich die Kugeln von einander, und die anfangs parallel hängenden Seidenfäden bilden einen Winkel, dessen Scheitel auf der Seite der Befestigungspunkte der Fäden liegt. Aus diesen Versuchen folgt eine Hauptwirkung der Elektricität: ***gleichartig elektrisirte Körper entfernen sich von einander.***

Diese Wirkung ist oben (§. 3.) als charakteristisches Kennzeichen der Elektricität gebraucht worden. Der Anblick der Figur 1 zeigt nämlich, dafs die beweglichen Dräthe *b b* an dem Hauptdrathe *a*, von dem sie berührt werden, gleichartig elektrisirt sind, und die Divergenz dieser Dräthe eine Folge des eben ausgesprochenen Satzes ist.

9 Es sei die Kugel *a* (Fig. 3.) positiv elektrisirt und man nähere ihr einen negativ elektrischen Körper, oder die Kugel sei negativ elektrisirt und man nähere ihr einen positiv elektrischen Körper; in beiden Fällen verläfst die Kugel die Verticale und nähert sich dem dargebotenen Körper. Hat man zwei Kugeln neben einander an Seidenfäden aufgehängt und ungleichartig elektrisirt, so nähern sich die Kugeln einander und die Fäden bilden einen Winkel, dessen Scheitel auf der Seite der Kugeln liegt. Hieraus folgt die andere Hauptwirkung der Elektricität: ***ungleichartig elektrisirte Kugeln nähern sich einander.***

Bei diesem Versuche darf man die beiden elektrisirten Kugeln nicht zur Berührung kommen lassen, denn alsdann würden sie, nach dem früher Gesagten, ihre elektrischen Zustände gegenseitig ausgleichen, und der Ueberschufs einer Elektricitätsart würde sich auf beide Kugeln vertheilen und dieselben, nach dem ersten Satze, von einander entfernen.

Digitized by Google

Nach Kenntnifs dieser beiden Hauptwirkungen der Elek- 10
tricität, lassen sich einige Zusätze zu den früheren Paragraphen geben. Es ist klar, dafs wir in der angewandten Vorrichtung (Fig. 3.), die man *elektroskopisches Pendel* zu nennen pflegt, ein neues Mittel erlangt haben, die Elektricitätsart eines Körpers zu bestimmen. Das elektroskopische Pendel wird, mit einer bekannten Elektricitätsart geladen, in die Nähe des zu untersuchenden Körpers gebracht, und zeigt durch seine Bewegung die Elektricität des Körpers an. Hier tritt ein ähnlicher Fall ein, wie bei der Untersuchung der Elektricitätsart am Elektroskope; nur die Abstofsung des Pendels giebt ein unzweideutiges Resultat, nicht aber die Anziehung. Ein nicht elektrischer Körper nämlich zieht ein beliebig elektrisirtes Pendel an, aber freilich bedeutend schwächer, als wenn der Körper mit dem Pendel ungleichnamig elektrisch ist. Wirkt daher ein Körper auf ein z. B. positiv elektrisches Pendel abstofsend, so ist er gewifs positiv, wirkt der Körper aber anziehend, so erfährt man, falls nicht die Stärke der Anziehung keinen Zweifel läfst, eigentlich nur, dafs er nicht positiv elektrisch sei. Zur fernern Prüfung mufs man das Pendel dann negativ elektrisiren, wonach eine Abstofsung den Körper als negativ elektrisch bezeichnet. Das elektroskopische Pendel ist ein sehr schätzbares Mittel, die Elektricitätsart verschiedener Stellen eines Körpers zu untersuchen, erheischt aber, seiner grofsen Beweglichkeit wegen, nicht geringe Vorsicht. Um das Pendel gegen die Bewegung durch Luftströme zu schützen, hängt man den zu untersuchenden Körper in ein weites Glasgefäfs, und führt das an einem langen Stiele befestigte Pendel behutsam an die zu prüfenden Stellen.

Gilbert gebrauchte, um die elektrische Anziehung zu 11
zeigen, eine nach Art der Bussolnadel auf einer Spitze balancirte Metallnadel von 3 bis 4 Zoll Länge, die er unter dem Namen Versorium beschrieb [1]). Hauy benutzte dies Instrument zur elektrischen Prüfung der Mineralien, indem er es auf eine Fufsplatte aus Siegellack stellte und mit einer bestimmten Elektricitätsart lud [2]). Zur Prüfung auf positive Elektricität

[1]) *Gilbert de magnete etc.* p. 49.

[2]) *Annales de Chimie t.* 8. (1818). Schweigger Journal für Chemie. 25. 141.

Digitized by Google

[11] fand derselbe es bequemer, an einem Seidenfaden einen Splitter von isländischem Doppelspath aufzuhängen, der durch Druck gegen die Finger positiv elektrisch wird, oder ein Katzenhaar an einem Schellackstiele zu befestigen, das, durch die trocknen Finger gezogen, gleichfalls positiv wird. Diese Vorrichtungen zeigen auf eben die Weise, wie das elektroskopische Pendel, durch ihre Bewegung die Elektricitätsart eines ihnen nahegebrachten Körpers an.

12 Die Bewegungen elektrisirter Körper lehren den Grund der zweifelhaften Anzeigen kennen, die zuweilen bei der Prüfung eines Körpers am Elektroskope eintreten. Wird den elektrisirten Dräthen des Elektroskops (§. 4.) ein elektrisirter Körper von der Seite genähert, so erfolgen, ungeachtet der dazwischenliegenden Glasfläche, deutliche elektrische Bewegungen, den obigen Gesetzen gemäfs. Dies geschieht mehr oder minder bei jeder Stellung des Körpers; indem man diesen an den zuleitenden Stift des Elektroskops anlegt, bringt man zwei verschiedene Wirkungen auf die beweglichen Dräthe hervor. Diese Wirkungen üben in jedem Falle einen entgegengesetzten Einfluſs auf die Divergenz der Dräthe. Ein Körper, der mit dem Elektroskope gleichartige Elektricität besitzt, elektrisirt den Stift gleichartig, und vergröſsert hierdurch mittelbar die Divergenz; unmittelbar aber stöſst er die gleichartig elektrisirten Dräthe zurück, und sucht dadurch die Divergenz zu verringern. Besitzen Körper und Elektroskop ungleichartige Elektricität, so wird die Divergenz mittelbar verringert, unmittelbar aber, da die Dräthe nach oben angezogen werden, vergröſsert. Begreiflicherweise ist die unmittelbare Wirkung des elektrisirten Körpers auf die Dräthe desto stärker, je näher er diesen kommt; man hat deshalb den Stift des Elektroskops von einiger Länge zu wählen, den Dräthen ursprünglich eine geringe Divergenz zu geben, und den Körper in verticaler Richtung zu dem Stifte zu führen. Trotz dieser Vorsicht kommt es zuweilen vor, daſs die Anzeige des Elektroskops zweifelhaft wird, wenn der zu prüfende Körper einigen Umfang und die Eigenschaft besitzt, seine Elektricität dem Stifte nur langsam abzugeben. Alsdann thut man gut, den Körper nicht an den Stift anzulegen, sondern ihn von der Seite gegen die Dräthe

Digitized by Google

des Elektroskops zu führen, und deren Bewegung zu beobachten. In der Folge, wo die Anleitung zum Gebrauche des Elektroskops erst vervollständigt werden kann, wird die Art gelehrt werden, in jedem Falle sichere Resultate zu erhalten. Wo nur schwache Elektricität zu prüfen ist, wird die Bestimmung am einfachen Elektroskope stets schwierig und zeitraubend, während das zusammengesetzte (Säulen-) Elektroskop eine leichte und schnelle Prüfung zuläfst. Das Princip dieses Instruments wird nach dem Vorhergehenden verständlich sein. [12]

Das Säulenelektroskop (Behrens Elektroskop). [13] Man stelle zwei kleine Messingscheiben an Glasstücken vertical und in der Entfernung von 1 Zoll parallel einander gegenüber, und gebe der einen Scheibe positive, der andern negative Elektricität von gleicher Stärke. Ein elektroskopisches Pendel, das unelektrisch genau in die Mitte zwischen beide Scheiben gebracht ist, kann nicht aus seiner verticalen Stellung weichen, da ein nicht elektrischer Körper von jeder Elektricitätsart in gleicher Weise angezogen wird. Besitzt hingegen das Pendel positive Elektricität, so wird es nothwendig zur negativen Scheibe abgelenkt werden, und zur positiven, wenn es negativ elektrisch ist. Das Pendel, nachdem es mit einem Körper in Berührung gesetzt worden, zeigt also durch seine Bewegung unzweideutig an, ob der Körper elektrisch sei, und welche Elektricitätsart er besitze. Die Vorrichtung würde indefs nicht anwendbar sein, wenn man die Scheiben auf gewöhnliche Weise elektrisiren wollte, da sie nur kurze Zeit elektrisch bleiben würden. Es giebt einen Apparat, den wir später unter dem Namen der elektrischen oder trockenen Säule näher kennen lernen werden, durch den die beiden Scheiben viele Jahre hindurch in elektrischem Zustande erhalten werden. Die elektrische Säule besteht aus Paaren von Kreisscheiben, die mit einem Stahlstempel aus unächtem Gold- und Silberpapier (Kupfer- und Zinnpapier) geschlagen, und in bestimmter Ordnung aufgestapelt sind. Eine Gold- und eine Silberpapierscheibe, so aufeinandergelegt, dafs ihre Papierflächen sich berühren, bilden ein Paar; die einzelnen Paare werden sorgfältig so zu einer Säule geschichtet, dafs bei allen dieselbe Metallfläche oben liegt, und zuletzt durch seidene Schnüre an

Digitized by Google

[13] einander gepreſst, oder in eine Glasröhre eingeschlossen, oder durch eine Hülle von Siegellack zusammengehalten. Die erste und letzte Metallfläche, nach der angegebenen Schichtung nothwendig von verschiedener Natur, bleibt frei, oder wird mit einer soliden Metallplatte bedeckt; nach jenen Flächen unterscheidet man ein Kupfer- und ein Zinn-Ende der Säule. Eine solche Säule von wenigstens 500 Paaren hat die Eigenschaft, Körper, die mit ihren Enden in Berührung stehen, viele Jahre hindurch merklich elektrisch zu erhalten, und zwar bleibt der Körper am Kupferende positiv, der am Zinnende negativ elektrisch (§. 985.).

14 Behrens war der Erste, der die elektrische Säule zu einem Elektroskope benutzte, das nach ihm genannt wird, und das in verbesserter Form Säulenelektroskop heiſsen soll. Der Erfinder stellte zwei kleine elektrische Säulen auf ein metallenes Fuſsgestell[1]) und führte von dem obern Ende jeder Säule, das bei der einen Säule das Zinn- bei der andern das Kupferende war, einen Drath durch Bohrungen in das Innere einer Glasglocke, in der ein Goldblattstreifen an einem durch die Decke der Glocke durchgehenden Metallstifte hing. Das Goldblatt befand sich zwischen den Spitzen der beiden Dräthe, die so lange verschoben wurden, bis das Blatt vertical hangen blieb. Brachte man nun einen positiv elektrischen Körper an den Stift der Glasglocke, so bewegte sich das Goldblatt gegen den Drath, der mit dem Zinnende der einen Säule verbunden war, war der Körper negativ, so bog sich das Blatt gegen den zum Kupferende führenden Drath.

Bohnenberger[2]) gab dem Behrens'schen Elektroskope die in Fig. 4 abgebildete Form, durch die es bedeutend niedriger und besser vor Beschädigung gesichert wurde. Ein hohler Glascylinder von $4\frac{1}{2}$ Zoll Höhe und $3\frac{3}{4}$ Zoll Weite ist in einen Holzfuſs gekittet und oben durch einen Messingdeckel geschlossen, dessen Mitte eine mit einem Schraubenzuge versehene Oeffnung hat. In diese Oeffnung ist eine kurze, mit Schellack ausgefüllte, Messingröhre geschraubt, durch die der

[1]) Gilbert Annalen d. Phys.* 23. 25.

[2]) Tübinger Blätter 1.380. Schweigger Journal* 25. 159.

Digitized by Google

Messingstift hindurchgeht, an dessen unterem Ende ein schma- [14]
les 2 Zoll langes Goldblatt befestigt ist. Aufserdem befinden sich in dem Deckel zwei schmale in einem Durchmesser liegende Schlitze, in welchen die oberen Fassungen der beiden elektrischen Säulen beweglich, und durch vorragende Klemmschrauben festzustellen sind. Die Säulen sind aus Scheiben von 5 Linien Durchmesser in $3\frac{1}{4}$ Zoll langen Glasröhren geschichtet, und tragen Fassungen, von welchen winkelrecht nach oben gebogene Metalllappen (Polplatten) ausgehen. Statt die Säulen, wie hier gezeichnet ist, von dem Deckel herabhangen zu lassen, kann man sie auf dem Boden des Cylinders aufstellen, wobei die Schlitze im Deckel fortfallen, dagegen aber ein Cylinder von gröfserer Höhe genommen werden mufs. Alsdann befestigt man die Säulen auf horizontalen Messingstreifen, die durch seitliche Oeffnungen in der Bodenplatte hindurchgehen, und dazu dienen, die Entfernung der Säulen von dem Goldblatte zu reguliren. Das Bohnenbergersche Elektroskop ist leicht winddicht zu machen, und alsdann besonders brauchbar zu gröberen Versuchen, die in freier Luft angestellt werden müssen. Zu diesem Zwecke ist eine Schraubenmutter in die Bodenplatte eingelassen, so dafs das Instrument mittels eines geeigneten Zwischenstücks auf den Knopf eines Spazierstocks geschraubt werden kann. Bei dem Gebrauche des Elektroskops hat man das Goldblatt durch die obere Schraube den Flächen der Polfortsätze parallel zu stellen, beim Transporte aber um einen Quadrant zu drehen; wodurch das Anschlagen und Anhaften des Blattes an den Polplatten gehindert wird.

Die beschriebenen Elektroskope haben den Mangel, der 15
sie zu feinen Versuchen untauglich macht, dafs aufser den Polplatten auch die Oberflächen der Säulen elektrisch werden, und zwar oft so unregelmäfsig, dafs ein freies Herabhangen des Goldblattes nicht zu bewerkstelligen ist. Fechner hat deshalb, statt der beiden elektrischen Säulen, nur Eine Säule angewendet [1]), die nach dem Obigen schon die beiden Elektricitäten liefert, die Säule horizontal gelegt, und das Goldblatt

[1]) Biot Lehrb. d. Experimentalphysik.“ Leipz. 1829. 3. 56.

Digitized by Google

[15] in ansehnlicher Höhe über ihrer Mitte angebracht. Hierdurch haben zwar die Dimensionen des Instruments bedeutend vergröſsert werden müssen, aber dieser Nachtheil wird durch vermehrte Empfindlichkeit und Brauchbarkeit reichlich aufgewogen. An dem Fechner'schen Instrumente ist es zwar stets möglich, durch vorsichtiges Ajustiren der Polplatten dem Goldblatte die nöthige Beweglichkeit zu geben, aber man hat diese Operation bei der fortwährenden Aenderung des elektrischen Zustandes der Platten häufig zu wiederholen. Ich habe dem Instrumente folgende Einrichtung gegeben, die theils die Bewegung der Polplatten erleichtert, theils eine längere Zeit hindurch unnöthig macht.

16 Ein hölzerner Kasten (9 Zoll 8 Linien lang, 4 Zoll 9 Linien breit und hoch) ist vorn mit einer Thür versehen, die sich um ihre untere Kante dreht, und durch einen zur Seite angebrachten Vorreiber geschlossen wird (Fig. 5). Die Decke des Kastens wird durch eine (seitlich unverrückbar) aufgelegte Holzplatte gebildet, in deren Mitte, zur Aufnahme einer Glasglocke, eine Kreisrinne eingeschnitten ist, innerhalb welcher sich eine Spalte von 3 Zoll Länge befindet. Diese Spalte ist mit Glasstäben ausgekleidet, und in einer Breite von 3 Linien frei. Auf dem Boden des Kastens befinden sich, 1 Zoll von einander entfernt, zwei Holzstützen für einen Glascylinder von 2 Zoll Weite, in welchen die elektrische Säule eingeschlossen ist. Dieser Cylinder ist fast 6 Zoll lang, und durch 2 aufgeschraubte Messingfassungen geschlossen, in deren Mitte die Säule zwischen zwei eingeschraubten Zapfen eingeklemmt ist. Aufserdem ist an jeder Fassung ein Gelenk gelöthet, in das ein zweimal gebogener Drath (wie in der Figur ersichtlich) eingelenkt ist; an dem oberen Ende jedes Draths befindet sich ein zweites Gelenk, in welchem sich die Polplatte (ovale Scheibe von $10\frac{1}{2}$ und 6 Linien Durchmesser) bewegt, zu welcher Bewegung ein nach unten gehender, dann nach vorn gebogener Drath dient, der mit einer (nicht gezeichneten) gläsernen Handhabe versehen ist. Die beiden Polplatten, deren längerer Durchmesser vertical steht, können durch diese Handhaben über der Mitte des Glascylinders zur Berührung gebracht werden, (ihr unterer Rand steht dabei 3 Zoll über der Glasfläche des Cylinders).

Digitized by Google

alsdann ist die Deckplatte des Kastens abzuheben, deren [16]
Längsspalte zu diesem Ende in der Mitte einen Ausschnitt hat. Auf der Deckplatte steht in einer Kreisrinne die Glasglocke, 3 Zoll 8 Linien hoch, durch deren Wölbung ein 2 Zoll langer Messingstift hindurchgeht, der aufsen in einem abgestumpften Kegel endigt, und mit einem Schraubenzuge versehen ist zur Befestigung einer Kugel, einer horizontalen Kupferplatte, einer Druckschraube oder des abgebildeten Drathes mit ringförmiger Endigung, in die ein Platintiegel pafst. Innerhalb der Glocke ist dieser Stift abgeflacht, und trägt ein 2 Zoll 3 Linien langes, 1 Linie breites Goldblatt, aufserhalb ist eine Elfenbeinplatte mit einer Verticallinie und den Zeichen der beiden Elektricitäten auf der Deckplatte des Kastens angebracht. An dem Boden des Kastens ist der Schliefsungsstab befestigt, eine Vorrichtung, die beiden Metallfassungen des horizontalen Glascylinders augenblicklich in metallische Verbindung zu bringen. Ein Messingstab, 2 Linien dick, 6 Zoll 4 Linien lang, ist an einer stark gekrümmten Messingfeder befestigt (Fig. 6.), die an der Bodenplatte des Kastens zwischen den beiden Holzstützen festgeschraubt ist. Der Stab ruht auf zwei Glasstäben, welche die obere Kanten der Holzstützen bekleiden, und ein seitliches Ausweichen desselben ist durch einen an der Feder befestigten Holzpflock gehindert. An der Mitte des Stabes ist ein Stift mit einem Knopfe angesetzt, von solcher Länge, dafs er, durch eine Oeffnung der geschlossenen Thür hindurchgehend, vor dieser vorragt. Durch einen Druck an den Knopf berührt der Stab beide Fassungen des Glascylinders, und schnellt bei aufgehobenem Drucke von ihnen los. Es ist nöthig, dafs der Messingstab sich von beiden Fassungen gleichzeitig abhebe, daher man möglichst normal auf den Knopf drücken mufs.

Die elektrische Säule zum Elektroskope besteht aus Gold- [17]
und Silberpapierscheiben von 1 Zoll Durchmesser, und wird zwischen seidenen Schnüren leicht in folgender Weise geschichtet. Man befestigt vertical einen hohlen Glascylinder von 13 Linien innerem Durchmesser, läfst in ihn eine Messingscheibe an 4 seidenen Schnüren bis zu 1 Zoll Tiefe hinab, und befestigt die Schnüre durch ein um den Cylinder gelegtes

Digitized by Google

[17] Band. Der Raum über der Scheibe wird mit den Papierscheiben in der §. 13 gelehrten Anordnung ausgefüllt, die Messingscheibe dann tiefer in den Cylinder gedrückt und so fortgefahren, bis die Säule die nöthige Länge hat. Alsdann legt man eine zweite Messingscheibe auf, zieht die Schnüre durch Löcher, die an ihrem Rande angebracht sind, bindet das Ganze fest, und zieht die Säule aus dem Cylinder. In gleicher Weise werden Säulen gestopft, die in Glasröhren oder zwischen drei Glasstäben eingeschlossen bleiben. Man befestigt die, innerlich mit Schellack überzogene, Glasröhre vertical, und bringt in sie von unten einen Drath, dessen Ende den Scheiben zur Stütze dient, und bei der Schichtung allmälich weiter geschoben wird. Solche in Glasröhren eingeschlossene elektrische Säulen sind in dem kleinen Säulenelektroskop angewendet, das in Fig. 7 abgebildet ist. An diesem Instrumente ist der Holzkasten $3\frac{1}{2}$ Zoll lang, 2 Zoll 7 Linien hoch und breit; auf der Bodenplatte, $\frac{1}{2}$ Zoll aus der Mitte nach hinten, ist ein Glasstab befestigt, der vier verticale Glasröhren trägt, welche, mit Fassungen versehen, die in Fig. 8 ersichtliche Stellung haben. An den Röhren 1 und 2, wie an den 3 und 4, sind die unteren Fassungen, an den Röhren 2 und 3 die oberen durch einen Metallstreifen mit einander verbunden. Diese Röhren sind 2 Zoll 2 Linien hoch, $5\frac{1}{4}$ Linien weit, und stehen völlig vom Kasten isolirt; die elektrischen Säulen sind in ihnen so geschichtet, dafs je zwei mit einander verbundene Fassungen an verschiedenen Säulenpolen anliegen. Hiernach bilden die vier Säulen nur Eine Säule, deren Pole an den freien Fassungen 1 und 4 liegen, an welchen die Polplatten bei *a* eingelenkt sind. Der Schliefsungsstab (in der Zeichnung nicht sichtbar) liegt dicht unter der Deckplatte, und wird von zwei, an der Bodenplatte zu beiden Seiten befestigten, Federn gehalten. Der Knopf des Stabes und die Handhaben der Polplatten sind in der Zeichnung angegeben. Die Glasglocke ist 3 Zoll hoch, das Goldblatt so kurz, dafs es die Polplatten nicht berühren kann; das Instrument, in einen Ueberkasten von 7 Zoll Höhe eingeschlossen, ist daher bequem und gefahrlos zu transportiren.

Digitized by Google

Wenn das Säulenelektroskop nicht gebraucht wird, hat 18
man die Polplatten möglichst weit nach aufsen und die Ebene des Goldblattes normal gegen die Platten zu richten. Vor dem Gebrauche dreht man die Glocke, bis die Kanten des Goldblattes die Verticallinie der Elfenbeinplatte decken, schliefst die Säule einen Augenblick durch den Schliefsungsstab, und rückt die Polplatten an ihren Handhaben gegen die Mitte. Das Goldblatt darf weder bei Ableitung des Stiftes, noch bei der Schliefsung der Säule die geringste Bewegung zeigen, eine Bedingung, die desto schwerer zu erfüllen ist, je näher man die Platten dem Blatte gebracht hat. Obgleich daher mit dem Zusammenrücken der Platten das Instrument an Empfindlichkeit gewinnt, so darf man diese, um zuverlässige Beobachtungen zu erhalten, nicht zu weit treiben. Der elektrische Zustand der Polplatten ändert sich mit der Zeit, die nach der Schliefsung der Säule vergangen ist; man regulirt die Stellung der Platten daher am besten kurz nach einer Schliefsung, um bei einer längern Beobachtungsreihe die freie Beweglichkeit des Goldblattes sogleich durch das Spiel des Schliefsungsstabes wiederherstellen zu können. Zuweilen tritt bei Berührung des Stiftes an der Glocke eine Neigung des Goldblattes ein, die bei dem Fortziehen des Fingers aufhört (und zwar gewöhnlich in der Richtung, wie bei Anzeige von negativer Elektricität), ein Zeichen, dafs die Glasglocke elektrisch geworden ist. Häufig hilft alsdann ein starkes Anhauchen der Glocke bei gleichzeitiger Berührung des Stiftes. In diesem Falle ist die Aufsenfläche der Glocke elektrisch gewesen; ist es aber die Innenfläche, so ist dem Fehler augenblicklich nicht zu begegnen, und das Instrument für mehrere Stunden unbrauchbar. Eine solche störende Elektrisirung tritt zumeist ein, wenn das Goldblatt längere Zeit an einer Polplatte gehaftet hat, was man daher sorgfältig vermeiden mufs. Das Säulenelektroskop ist ein sehr bequemes, zuweilen unentbehrliches Instrument, aber man hat sich mit seinem Gebrauche sehr genau bekannt zu machen, ehe man es zu feinen Versuchen anwendet.

Digitized by Google

Erregung der Elektricität durch Reibung.

19 Ich werde die Erregung der Elektricität in einem eigenen Abschnitte ausführlich abhandeln, mufs aber einige Bemerkungen vorwegnehmen über die Erregung durch Reibung, als das einfachste Mittel, sich die Elektricität zu verschaffen, deren Gesetze hier zunächst untersucht werden. Die Körper, die durch Reibung an einander elektrisirt werden sollen, müssen an Glas- oder Harzstielen befestigt sein, was aber natürlich bei einem Körper unnöthig ist, der selbst von glasiger oder harziger Beschaffenheit und zugleich so grofs ist, dafs er bequem gefafst werden kann. Man reibe zwei Körper mit schneller Bewegung an einander, und lege sie, nachdem sie getrennt worden, an den Stift des Säulenelektroskops an. Welche Körper auch zu diesem Versuche gewählt wurden, so findet sich stets, wo nur die Elektricitäten der beiden geriebenen Stücke merklich werden können, dafs diese Elektricitäten entgegengesetzter Art sind. Der eine der geriebenen Körper ist positiv, der andere negativ elektrisch. Man hat versucht, in Bezug auf die durch Reibung erregte Elektricität, die Körper in eine Reihe zu ordnen (Erregungs- oder Spannungsreihe) dergestalt, dafs aus der Stelle, die ein Körper in der Reihe einnimmt, die an ihm erregte Elektricitätsart erkannt werden kann. Aber nur eine geringe Anzahl von Körpern hat sich dieser Ordnung gefügt, und selbst die mit ihnen gebildeten speciellen Reihen sind von keinem praktischen Nutzen. Die Elektricitätserregung nämlich findet an der Oberfläche der Körper statt, und hängt so innig mit der Beschaffenheit dieser Oberflächen zusammen, dafs eine geringe, oft gänzlich unmerkliche Aenderung der Oberfläche im Stande ist, die Art der bei der Reibung erhaltenen Elektricität zu ändern. Erregungsreihen können nur für Oberflächen von bestimmter Beschaffenheit gelten, die schwer zu erhalten sind; durch das Reiben selbst ändert sich die Oberfläche der geriebenen Körper, und es kann die Elektricitätsart eines geriebenen Körpers daher zu Ende eines Versuches eine andere sein, wie zu Anfange. In der folgenden Tafel habe ich die Resultate der Reibung für einige Stoffe angegeben, bei welchen Abweichungen gar nicht oder nur selten zu befürchten

Digitized by Google

sind; wo mir keine Abweichung bekannt geworden, habe ich [19] die Rubrik als sicher bezeichnet. Es wird angenommen, dafs ein Stoff der ersten Spalte mit einem der zugehörigen zweiten gerieben werde, dann wird:

Positiv elektrisch.	Negativ elektrisch.
Pelz der Raubthiere. Struppiges Menschenhaar.	Glas, Porzellan, Holz, Metalle, Harze, Schwefel.
Glas	Zinn-Zink-Amalgam auf Leder (sicher).
Pelz, Wolle, Leinen, Seide. Papier, Metalle.	Colophon, Siegellack, Schwefel, Schellack, Bernstein (sicher).
Diamant, Topas, Axinit, Bergkrystall, Kalkspath, Glimmer, polirtes Glas.	Wolle, Leinen, Seide, Leder.
Glas, Seide.	Metalle.

Bei den Versuchen der ersten Rubrik ist die Art der Reibung nicht gleichgültig, und es ist hier angenommen, dafs die Reibung nach der Länge der Haare geschieht, wie es beim Peitschen der Körper mit Haarbüscheln und Pelzwerk der Fall ist. Reibt man Glas mit einem Haarbüschel der Quere nach unter starkem Drucke (indem man dasselbe z. B. durch eine Haarschlinge zieht), so findet man es häufig positiv elektrisch. Ich habe hierbei den Unterschied zwischen lebenden und todten Haaren nicht gefunden, den Wilcke angegeben hat.

Digitized by Google

Zweites Kapitel.

Mittheilung und Leitung der Elektricität.

20 Ein jeder Körper wird elektrisch, wenn er mit einem elektrisirten Körper in Berührung gesetzt ist, und zugleich nimmt an dem letztern die Stärke des elektrischen Zustandes ab. Dies wird Elektrisirung durch Mittheilung genannt, da es den Anschein hat, als ob ein Theil der Elektricität des ursprünglich elektrisirten auf den neutralen Körper übergehe. Leicht ist dies an zwei einfachen Elektroskopen (§. 4.) zu sehen, von welchen das eine elektrisirt worden; man wird an diesem die Divergenz abnehmen sehen, wenn man seinen Stift mit dem Stifte des zweiten Elektroskops berührt, das eben dadurch zu divergiren beginnt. Die Divergenz eines geladenen Elektroskops nimmt ab, mit welchem Körper auch sein Stift berührt wird, und dieser Körper, an einem Säulenelektroskope geprüft, zeigt Elektricität von derselben Art, die das geladene Elektroskop besitzt. Durch Prüfung zweier Körper von beliebiger Natur und Gröfse, die man mit einander berührt, von welchen vor der Berührung der eine elektrisirt, der andere unelektrisch war, läfst sich der ausgesprochene Satz noch allgemeiner bestätigen. Aber bei dieser Prüfung zeigen sich die gröfsten Unterschiede in der Stärke und Ausdehnung der Elektrisirung durch Mittheilung, je nach der Natur der Stoffe, die man dem Versuche unterwirft. Während viele Stoffe bei augenblicklicher Berührung in ganzer Ausdehnung durch Mit-

Digitized by Google

theilung elektrisch werden, nehmen andere sogleich nur an der [20]
Berührungsstelle Elektricität an, und es bedarf einer längeren Zeit, bis sich die Elektricität von dieser Stelle weiter verbreitet. Hat man diese letzteren Stoffe ursprünglich elektrisirt, so geben sie allen Körpern, mit welchen man sie berührt, nur einen geringen Grad von Elektricität. Es ist einleuchtend, wie wichtig und durchgreifend dieser Unterschied der Körper in Bezug auf die Elektrisirung durch Mittheilung für die ganze Elektricitätslehre ist, und dafs alle Eigenschaften, die wir an elektrisirten Körpern erkennen, stets mehr oder weniger durch die Elektrisirung durch Mittheilung geändert werden müssen. Selbst die erste und allgemeinste Eigenschaft der Elektricität kann jetzt, da wir die Mittheilung kennen gelernt haben, in Zweifel gezogen werden. Es ist der elektrische Zustand allgemein als vorübergehend bezeichnet worden, aber es steht in Frage, ob nicht dies allein für die uns vorliegenden Körper richtig und eine Folge davon sei, dafs diese Körper stets von anderen Körpern berührt werden, durch welche sie mit dem ganzen Erdkörper in Verbindung gesetzt sind.

Elektrisches Leitungsvermögen. Entladungszeit der Elektricität.

Die gröfsere oder geringere Leichtigkeit, mit der ein Kör- 21
per sich der elektrischen Mittheilung bietet, bestimmt die Aenderung, die der elektrische Zustand eines andern Körpers erfährt, der von jenem berührt wird. Damit diese Aenderung möglichst merklich werde, mufs der elektrisirte Körper selbst durch Mittheilung leicht elektrisirbar sein, so dafs der Zustand eines jeden seiner Theile stets dem des ganzen Körpers entspreche. Wird ein solcher Körper von irgend einem zu untersuchenden Körper berührt, so nimmt nach dem Gesagten sein elektrischer Zustand desto langsamer ab, je schwerer die elektrische Mittheilung erfolgt. Man kann daher an einem einzigen elektrisirten Körper, dessen elektrischer Zustand beobachtet wird, die Grade der Fähigkeit aller Körper erkennen,

Digitized by Google

[21] durch Mittheilung elektrisch zu werden. Nach dieser Prüfungsweise sind die Bezeichnungen gewählt worden, die sich auf jene Fähigkeit beziehen. Man nimmt nämlich einen auf einen bestimmten Grad elektrisirten Körper als gegeben an, und betrachtet an allen Körpern die Eigenschaft, jenen Körper durch Berührung weniger elektrisch zu machen, die Elektricität desselben scheinbar abzuleiten. Hiernach erscheinen alle Körper als *Leiter* der Elektricität, die *Leitungsvermögen* in sehr verschiedenem Grade besitzen. Diese Grade würden nach der Abnahme des elektrischen Zustandes eines Körpers bestimmt werden können, der mit den auf ihr Leitungsvermögen zu untersuchenden Stoffen während eines genau gleichen Zeitintervalles in Berührung gestanden hätten. Diese Bestimmungsmethode ist unausführbar, und wird durch die folgende ersetzt.

22 Ein mit einer bestimmten Elektricitätsart geladener Körper wird unelektrisch, wenn er mit einem entgegengesetzt elektrischen Körper oder mit der Erde durch einen Zwischenkörper in Verbindung gesetzt wird. Man sagt dann, der elektrische Körper werde durch den Zwischenkörper *entladen*, und nennt *Entladungszeit* die Zeit, welche von dem Augenblicke der Verbindung bis zu dem verstreicht, wo der Körper unelektrisch geworden ist. Offenbar hängt diese Zeit von dem Vermögen des Zwischenkörpers ab, durch Mittheilung elektrisch zu werden, sie ist daher zum Maafse seines *Leitungsvermögens* gewählt worden; und zwar wird das Leitungsvermögen der Entladungszeit umgekehrt proportional gesetzt. Hiermit haben wir die empirische Bedeutung des Leitungsvermögens und ein einfaches leichtes Experiment gewonnen, es zu bestimmen. Von zwei verschiedenen Körpern A und B, die, successiv an einen elektrisirten Körper angelegt, diesen in den Zeiten 1 und 2 entladen, sagt man, dafs das Leitungsvermögen von A zu dem von B sich wie 2 zu 1 verhalte. Es kann hier beiläufig bemerkt werden, dafs es bei vielen Versuchen bequemer ist, statt der reciproken Werthe der Entladungszeiten, die also Werthe des Leitungsvermögens abgeben, die directen Werthe der Zeiten anzuwenden, und dafs man diese an eine Eigenschaft der Körper geknüpft hat, die Leitungswiderstand genannt worden

Digitized by Google

ist. Von den Körpern *A* und *B*, die das Leitungsvermögen [22]
2 und 1 besitzen, würde man auch sagen, dafs sie den Leitungswiderstand 1 und 2 äufsern. Ich werde mich dieser, in der Lehre vom Galvanismus gebräuchlichen, Bezeichnung nicht bedienen, selbst bei solchen Versuchen nicht, wo, wie bei dem Galvanismus, von keinen directen Zeitbestimmungen die Rede ist. Wenn ich in diesen letzten Fällen eine andere Bezeichnung wähle, so mag dies mit der Nothwendigkeit entschuldigt werden, Resultate, die durch die verschiedenartigsten Experimente gewonnen worden, schon äufserlich von einander zu trennen. Bei der geringen Kenntnifs, die wir bisher von dem Wesen der verschiedenen Elektricitäten besitzen, scheint mir ein strenges Auseinanderhalten der Gebiete, und einseitiges Studium jedes Gebietes, dem Fortschritte förderlich zu sein.

Leiter und Nichtleiter (Isolatoren) der Elektricität.

Um das Leitungsvermögen eines Körpers zu untersuchen, 23
legt man ihn mit der Hand an ein positiv oder negativ geladenes Elektroskop an, oder an einen Apparat, der später unter dem Namen der leydener Flasche beschrieben wird, und beobachtet die Zeit, die bis zur vollkommenen Entladung dieser Instrumente vergeht. Die Beobachtung an einem zweiten Körper würde, streng genommen, nur dann mit der ersten Beobachtung vergleichbar sein, wenn man die Bedingungen des Versuches, also auch die Form und Dimensionen der beiden Körper genau gleich gewählt hätte. Aber diese Vorsicht wird überflüssig, da die Zeitbestimmung bei den festen Körpern nur sehr unvollkommen ausgeführt werden kann. Bei den meisten dieser Körper ist die Entladungszeit nämlich so klein, dafs sie nicht direct gemessen werden kann, und bei anderen ist sie zwar mefsbar, aber von so vielen Nebenumständen abhängig, dafs ihre genaue Messung keinen Werth hat. Man benutzt die directe Zeitbestimmung zuvörderst nur, alle handlichen Stoffe in drei, nicht streng gesonderte, Gruppen zu vertheilen. Es werden unterschieden: gute Leiter der Elektricität (*Leiter*), welche einen gegebenen elektrisirten Körper augenblicklich

Digitized by Google

[23] entladen, unvollkommene Leiter (*Halbleiter*), bei welchen diese Entladungszeit einige Sekunden beträgt, schlechte Leiter (*Nichtleiter*), die während einer Minute keine Entladung veranlassen.

Die Nichtleiter der Elektricität werden auch *Isolatoren* genannt, nach dem wichtigen Gebrauche, den man von ihnen macht. Ein Körper nämlich, der längere Zeit elektrisch bleiben soll, muſs von allen guten Leitern durch einen hinreichenden Zwischenraum getrennt, oder *isolirt* sein, und man nimmt daher die Nichtleiter zu Handhaben und Stützen solcher Körper. In den vorhergehenden Paragraphen haben wir schon öfter von Handhaben aus Schellack oder Glas, als den hierzu bequemsten Nichtleitern, Gebrauch gemacht. Experimentirt man an einem Nichtleiter, so ist dieser schon von selbst isolirt, wogegen ein Leiter durch Ansatzstücke isolirt werden muſs. Daher kommt es, daſs man früher die Körper, in Bezug auf die Fähigkeit, durch Reibung elektrisch zu werden, in *idioelektrische* und *anelektrische* eintheilte, von welchen die ersten den schlechten, die zweiten den guten Leitern entsprechen. Es ist schon oben (§. 19.) bemerkt, daſs alle Körper durch Reibung elektrisch werden, hier kann hinzugefügt werden, daſs die guten Leiter isolirt werden müssen, damit sie bis zur Prüfung elektrisch bleiben.

24 Ueber das Leitungsvermögen der Körper ist folgende Reihe aufgestellt worden [1]).

(Leiter.)

Die gebräuchlichen Metalle,
Gut gebrannte Holzkohle,
Graphit,
Concentrirte Säuren,
Kohlenpulver,
Verdünnte Säuren,
Salzlösung,
Seewasser,
Quellwasser,
Regenwasser,

[1]) *Encyclopaedia metropolitana Lond.* 1830. *electricity.** 72.

Digitized by Google

Schnee, [24]
Lebende Vegetabilien,
Lebende animalische Theile,
Lösliche Salze,
Leinen,
Baumwolle.

(Halbleiter.)

Alkohol und Aether,
Glaspulver,
Schwefelblumen,
Trockenes Holz,
Marmor,
Papier,
Stroh,
Eis bei 0°.

(Nichtleiter.)

Trockene Metalloxyde,
Fette Oele,
Asche (vegetabilische und animalische),
Eis bei — 20° R.,
Phosphor,
Kalk,
Kreide,
Semen lycopodii,
Kautschuck,
Kampher,
Aetherische Oele,
Porzellan,
Getrocknete Vegetabilien,
Leder,
Pergament,
Trockenes Papier,
Federn,
Haare,
Wolle,
Gefärbte Seide,
Rohe Seide,
Edelsteine,

Digitized by Google

[24] Glimmer,
Glas,
Gagat,
Wachs,
Schwefel,
Harze,
Bernstein,
Schellack.

Dem mitgetheilten Verzeichnisse liegt die Absicht zu Grunde, von dem vollkommensten Leiter zu dem unvollkommensten allmälich fortzugehen, die aber nur in sehr prekärer Weise erreicht werden konnte. Die Stufenfolge der guten Leiter zu bestimmen, hatten wir kein Mittel, das erst an einer spätern Stelle gelehrt werden kann, und die Bestimmung der Stelle eines unvollkommenen Leiters, obgleich nach der angegebenen Methode ausführbar, unterliegt einer grofsen Unsicherheit. Das Leitungsvermögen dieser Körper erscheint nämlich veränderlich nach dem Zustande ihrer Oberfläche und dem der umgebenden Luft. Zu allen Zeiten enthält die Luft Wassergas in gröfserer oder geringerer Menge, und dies dringt entweder in die Masse der Körper ein (hygroskopische Körper), oder es schlägt sich auf ihrer Oberfläche nieder, und vermehrt in beiden Fällen das ursprüngliche Leitungsvermögen der Körper. Dieser Niederschlag hängt ab von der Beschaffenheit der Oberfläche eines Körpers und von seiner Temperatur, auf die man daher bei den Prüfungen auf das sorgfältigste zu achten hat. Einige Beispiele werden diese Wirkungen der Luft erläutern. Das Schreibpapier ist bei gewöhnlicher Temperatur ein Halbleiter, aber nach der Localität ein bald besserer bald schlechterer; es entladet ein Elektroskop in wenigen Sekunden, und erscheint gerieben nicht elektrisch. Dies rührt von dem aus der Luft aufgenommenen Wasser her. Legt man das Papierblatt an einen warmen Ofen an, so wird es nichtleitend, und kann nun durch Reibung mit der trockenen Hand oder einem Stücke Kautschuck so stark elektrisirt werden, dafs es stundenlang vertical an der Ofenkachel haften bleibt. Glas, besonders das von harter Sorte, ist ein sehr guter Isolator, aber nicht immer erweiset es sich als solcher,

Digitized by Google

indem die Luft dasselbe mit einer Wasserschicht überzieht. [25] Nach längerer Zeit ist dies bei allen Glasarten der Fall, so dafs man zu prüfende Gläser sorgsam abzutrocknen und zu erwärmen hat, um die leitende Wasserschicht zu entfernen; wie schnell aber diese sich wieder erneut, hängt, aufser von der Natur der Glassorte, von der Beschaffenheit der Oberfläche ab. Ich liefs an einer gut isolirenden Glastafel eine Fläche matt schleifen, und fand, nachdem die Tafel gesäubert und mäfsig erwärmt war, beide Flächen vollkommen nichtleitend. Wenige Minuten aber nach der Erkaltung zur Lufttemperatur war die matte Fläche leitend geworden, während die polirte noch am folgenden Tage die Elektricität gut isolirte. Man findet daher häufig angegeben, dafs polirtes Glas ein Isolator, mattes Halbleiter sei, was nur in praktischer Beziehung richtig ist. Auch nimmt die Vollkommenheit der Isolirung durch Glas nicht stets mit der Vollkommenheit der Politur zu. Es ist von mehreren Beobachtern [1]), auch von mir, bemerkt worden, dafs noch nicht benutzte, vollkommen polirte, Glasplatten bei der Lufttemperatur ziemlich gut leiten, und erst nach einiger Zeit oder längerem Gebrauche, durch den ihre Politur gelitten hat, nichtleitend werden (§. 926.). Bernstein und Schellack sind vollkommene Isolatoren, werden aber durch die Luft leitend, wenn ihre Oberfläche rauh gemacht worden. Selbst bei Schellackstäben mit vollkommen glatter Oberfläche habe ich nicht geringe Leitung gefunden, wenn sie auf leitenden Glastafeln ausgerollt worden waren.

Die Verwickelung des Leitungsvermögens der Isolatoren 26
durch Wirkung ihrer Oberfläche auf die Luft, wird noch dadurch sehr vergröfsert, dafs die Luft in längerer Zeit auf diese Oberfläche ändernd einwirkt. Es geschieht daher häufig, dafs ein Isolator, den man vor Monaten mit einer der Isolation günstigen Oberfläche fortgelegt hat, dazu untauglich gefunden wird, indem die Oberfläche eine andere Beschaffenheit angenommen hat. Auch der umgekehrte Fall findet Statt. Ein schlagendes Beispiel solcher Aenderung, von der man sich zu jeder Zeit überzeugen kann, habe ich an dem weifsen sibiri-

[1]) Priestley Gesch. d. Elektricität, übers. v. Krünitz. Berl. 1772.* 409.

Digitized by Google

[26] schen Glimmer gefunden. Der Glimmer gehört zu den besten Nichtleitern der Elektricität; ein säuberlich gehaltenes altes Glimmerblatt, an ein geladenes Elektroskop angelegt, läfst die Divergenz desselben während mehrerer Minuten ungeändert. Man hebe mit einem scharfen Messer von dem Blatte eine dünne Lamelle ab, und gebe ihm dadurch eine neue Oberfläche, so entladet diese das Elektroskop in wenigen Sekunden vollständig. Die frische Oberfläche ist leitend geworden durch Wasser, das sie aus der Atmosphäre aufgenommen hat, und das leicht von ihr zu trennen ist, wie ich an einer andern Stelle (§. 759.) zeigen werde. Aber schon nach einigen Tagen ist die Leitung auf der Fläche unvollkommener, und nach Jahren hat sie gänzlich aufgehört.

27 Das Leitungsvermögen einiger Mineralien. Die Bestimmung des Leitungsvermögens von Mineralien ist öfters versucht, aber noch nicht unter genügenden Bedingungen ausgeführt worden. Selbst vorausgesetzt, dafs die Beobachter die nach §. 25 nöthige Vorsicht gebraucht haben, so sind doch die Mineralien aus einer Sammlung genommen, und mit der Oberfläche untersucht worden, die ihnen eine lange Einwirkung der Luft und zufällige Umstände gaben. Ich begnüge mich daher, von diesen Prüfungen die allgemeinen Resultate anzuführen, welche Anhaltspunkte für künftige genauere Untersuchungen abgeben können. Zu diesen Prüfungen wurde nicht das Elektroskop, sondern die leydener Flasche gebraucht, ein an beiden Flächen mit Metall bekleideter hohler Glascylinder, der durch Verbindung seiner beiden Belegungen entladen wird. Das zu untersuchende Mineral wurde zu dieser Verbindung benutzt, und aus der Entladungszeit oder aus eigenen Lichterscheinungen, die wir später kennen lernen werden, auf das Leitungsvermögen des Minerals geschlossen. Pelletier[1]) fand, dafs weder Sauerstoff noch Schwefel das Leitungsvermögen der Metalle, die gute Leiter sind, in bestimmtem Sinne verändere. So leitet Schwefelsilber die Elektricität nicht, Schwefelquecksilber nur wenig, indefs Schwefelblei und Schwefelzink gute Leiter sind. Braunstein, ein Superoxyd, leitet gut, das rothe Bleisuperoxyd sehr wenig, die Bleierde, ein unreines

[1]) Gilbert Annalen d. Physik.* 46. 200.

Digitized by Google

Bleioxyd, wieder sehr gut. Der Anthracit erwies sich als [27]
guter, die Steinkohle als schlechter Leiter. Henrici und Hausmann[1]) haben folgende Resultate gegeben. Metalle und ihre Legirungen leiten. Die Schwefelmetalle, wenn sie undurchsichtig und metallisch glänzend sind, leiten; mehr oder weniger durchsichtige ohne Metallglanz (die sogenannten Blenden) leiten nicht. Metalloxyde und deren Hydrate, wenig durchsichtig und mit Metallglanz leiten besser, als solche, denen diese Kennzeichen fehlen. Doch ist Anatas ein guter Leiter. Undurchsichtige Silicate leiten. Vegetabilische Fossilien leiten desto besser, je vollkommener ihre Verkohlung ist; Anthracit ist der beste Leiter unter ihnen, Braunkohle der schlechteste.

Verwandte Mineralien haben oft sehr verschiedenes Leitungsvermögen; das auffallendste Beispiel hierzu giebt Diamant und Graphit, von welchen ersterer ein Isolator, letzterer ein Leiter ist. Der silberweifse Glimmer leitet viel schlechter als der tombakbraune aus Norwegen. Wo eine Verschiedenheit der Leitung an Mineralien in verschiedener Richtung gegen die Krystallaxe stattfand, wie bei Malacolith, soll diese von zufälliger Absonderung herrühren. Ich selbst habe Erscheinungen am Glimmer bemerkt, die es wahrscheinlich machen, dafs dies Mineral in der Richtung der Spaltungsfläche viel besser leitet, als in der darauf senkrechten Richtung (§. 773.). Wiedemann hat durch eigenthümliche Versuche (§. 747.) gezeigt, dafs die nicht zum regulären System gehörigen Krystalle auf ihrer Oberfläche die Elektricität in verschiedenen Richtungen verschieden gut leiten. Arragonit, Apatit, Kalkspath, Turmalin leiten in der Richtung ihrer krystallographischen Axe, hingegen essigsaures Kalk-Kupferoxyd, Cölestin, Schwerspath, Gyps, Feldspath, Epidot in der auf ihrer Axe senkrechten Richtung die Elektricität besser, als in jeder andern. Sénarmont hat aus Lichterscheinungen in verdünnter Luft an einer Elektricität ausströmenden Spitze, die auf eine Krystallfläche gestellt war, gleichfalls geschlossen, dafs die nicht zum regulären Systeme gehörigen Krystalle auf ihrer

[1]) Vers. üb. d. Leitungsvermögen d. Mineral.: mitgetheilt in der 9ten Versammlung des Göttinger bergmänn. Vereins."

Digitized by Google

[27] Oberfläche die Elektricität in verschiedenen Richtungen mit verschiedener Leichtigkeit fortleiten [1]).

28 Die folgenden, theils fossilen theils chemisch dargestellten Stoffe sind von mir am Elektroskope geprüft worden.

Der *Analcim*, von Hauy so genannt, weil er durch Reibung nur sehr schwach elektrisch wurde, erwies sich als Halbleiter. Ein milchweifser undurchsichtiger und ein wasserheller durchsichtiger Krystall entlud, selbst erwärmt, ein Elektroskop in wenigen Sekunden. Beide wurden elektrisch, wenn sie isolirt gerieben wurden.

Der *Retinasphalt*, im Ansehen dem Bernstein ähnlich, ist von einigen Beobachtern als guter Leiter angegeben. Diese Angabe kann aber nur durch eine rauhe Oberfläche des Minerals veranlafst sein; 6 verschiedene Stücke, sowohl von der hellgelben durchscheinenden Sorte (aus dem Mannsfeldschen und von Kamensk), als von der leberbraunen derben (von Wolchow in Mähren) zeigten sich mir als vollkommene Nichtleiter, und wurden daher, ohne isolirt zu sein, durch Reibung elektrisch.

Das *Selen* ist vollkommener Nichtleiter, und wird, nicht isolirt, leicht durch Reiben elektrisch, vorausgesetzt, dafs seine Oberfläche rein ist. Man erfüllt diese Bedingung, indem man aus der Substanz an der Lichtflamme einen dicken Faden zieht, und an diesem die Prüfung vornimmt.

Das *Jod* ist Halbleiter, sowohl in der Form von einem groben krystallinischen Pulver geprüft, wie zu dicken massiven Cylindern gegossen. Es wird daher nur isolirt durch Reiben elektrisch.

Aluminium und *Beryllium*, in Pulverform geprüft, zeigten sich nichtleitend. Die Metalle wurden in Glasröhren gefüllt, die mit Metallboden versehen waren, und mit einem Stahlstifte berührt. Der Metallboden wurde mit der Hand gefafst, und der Stift an ein Elektroskop angelegt. Die isolirende Eigenschaft der Pulver trat erst ein, als sie in einem Porzellantiegel getrocknet, und heifs in die Röhren geschüttet waren, worauf die Röhren verkorkt wurden. Wahrscheinlich rührt die iso-

[1]) *Annales de chimie.* 3. *sér.* 28. 257.

Digitized by Google

lirende Eigenschaft dieser glanzlosen Metallpulver von einem [28]
Ueberzuge mit Oxyd her; ein glänzendes Plättchen von Aluminium zeigte sich als vollkommener Leiter.

Schwefelblumen und präcipitirter Schwefel leiteten nicht, *Zinkoxyd* und *Gummi arabicum* hingegen nur dann nicht, wenn die Pulver gut getrocknet waren. Das natürliche *Schwefelantimon* ist, selbst in Pulverform, ein Leiter, das auf nassem Wege dargestellte (Mineralkermes) hingegen ein vollkommener Isolator. Durch Schmelzung und passende Abkühlung kann das Schwefelantimon ein Halbleiter oder Isolator werden (§. 381.).

G. Karsten[1]) hat die folgenden Schwefelverbindungen untersucht. *Schwefel-Arsen* (Realgar) ist, natürlich oder künstlich entstanden, Leiter, kann aber durch Schmelzen zu einem vollkommenen Isolator umgewandelt werden. Das dreifache Schwefel-Arsen (Auripigment) ist stets Isolator. *Schwefel-Zink* und *Schwefel-Kadmium*, auf trockenem Wege dargestellt, sind Leiter, auf nassem dargestellt, Isolatoren. Die folgenden Schwefelverbindungen sind nur als Leiter bekannt: Schwefel-Gold, -Silber, -Wolfram, auf nassem Wege bereitet; Schwefel-Kupfer, -Blei, -Zinn, -Wismuth, -Eisen auf nassem oder trockenem Wege dargestellt, in cohärenter oder in Pulver-Form.

Munck af Rosenschöld hat zur Bestimmung des Lei- 29
tungsvermögens pulverförmiger Stoffe eine Methode gebraucht[2]), die eine gröfsere Genauigkeit zuzulassen scheint, als die im vorigen Paragraphe angewandte. Ich theile deshalb diese Methode hier mit, obgleich sie auf Eigenschaften der elektrischen Entladung beruht, die erst später gelehrt (§. 617.), und hier nur historisch angeführt werden können. Es ist schon §. 27 der leydener Flasche gedacht worden, eines Apparates, der einer starken Elektrisirung fähig, dadurch entladen wird, dafs man seine beiden Metallbelegungen durch einen Leiter mit einander verbindet. Vollführt der Beobachter die Verbindung durch seinen Körper, so empfindet er eine Erschütterung, die bei gleicher Ladung der Flasche desto stärker ist, in je kürzerer Zeit die

[1]) Poggendorff Annalen.* 71. 242.
[2]) Poggend. Annal.* 34. 437.

Digitized by Google

[29] Entladung stattfindet. Erst bei einer gewissen Dauer der Entladung fängt die Erschütterung an merkbar zu werden. Die Entladungsdauer ändert sich, wenn man die Verbindung der beiden Belegungen der Flasche durch den Körper und durch einen vollen Cylinder irgend einer Materie bewirkt, und zwar wird bei derselben Materie die Zeit desto gröfser, je länger der Cylinder genommen worden. Man habe nun durch zwei Cylinder verschiedenen Stoffes die erste merkbare Erschütterung hervorgebracht, der eine Cylinder sei hierbei 1 Zoll, der andere 2 Zoll lang gewesen, so folgt hieraus, dafs beide Cylinder die Entladung in derselben Zeit bewerkstelligen, und dafs daher der Stoff des längern Cylinders ein gröfseres Leitungsvermögen besitzt, als der des kürzern. Hiernach sind die folgenden von Rosenschöld angestellten Versuche zu verstehen. Eine lange $1\frac{1}{4}$ Linien weite Glasröhre, an dem einen Ende durch Bleifolie verschlossen, wurde mit dem zu untersuchenden Pulver angefüllt. In die Mündung der Röhre wurde ein Eisendrath geführt, der mit der äufsern Belegung einer stets gleich geladenen leydener Flasche zusammenhing. Die Bleifolie der Glasröhre lag auf einer Kupferplatte, auf die der Experimentator den mit Wasser befeuchteten Finger der einen Hand setzte, während er mit der andern Hand die innere Belegung der Flasche berührte. Der erste Versuch durfte keine Erschütterung geben. Dann wurde bei folgenden Versuchen der Eisendrath immer tiefer in das Pulver gesenkt bis zu dem Punkte, bei dem der Schlag im Finger gefühlt wurde. Eine je gröfsere Länge der untersuchten Substanz hierbei zwischen der Spitze des Eisendrathes und der Bleifolie lag, desto gröfser mufste nach der obigen Auseinandersetzung das Leitungsvermögen der Substanz sein. Bei verschiedenen Pulvern, die alle gleich dicht in die Glasröhre gestopft waren, fanden sich folgende Längen:

Holzkohle im offenen Feuer gebrannt	54 Linien
- in verschlossenem Tiegel geglüht	252 -
Braunstein erste Sorte	$16\frac{3}{4}$ -
- zweite Sorte	5 -

Schwarzes Schwefelquecksilber geschmolzen und gepulvert zeigte sich besser leitend als der Braunstein.

Digitized by Google

Das letzte Resultat ist besonders merkwürdig, da der Zin- 30
nober, ein Nichtleiter, der bei dem beschriebenen Versuche in der Dicke von $\frac{1}{4}$ Linie die Erschütterung noch nicht merklich werden liefs, mit dem schwarzen Schwefelquecksilber dieselbe chemische Zusammensetzung hat, aber krystallinisch ist. Wir haben also hier ein zweites Beispiel (das erste gab Diamant und Graphit), dafs derselbe Stoff krystallinisch ein Nichtleiter, amorph ein guter Leiter der Elektricität ist. Man kann sich auch durch die einfachere Methode (§. 28.) von dieser Verschiedenheit der beiden Schwefelquecksilber überzeugen. Ich schüttete Zinnober in eine Glasröhre mit Kupferboden, und senkte eine Stahlnadel in das Pulver; schwarzes Schwefelquecksilber, das auf nassem Wege gewonnen und stark getrocknet worden war, wurde in eine ähnliche Röhre geschüttet. Der Zwischenraum zwischen Stahlspitze und Kupferboden betrug in dem rothen Präparate $\frac{1}{4}$ Linie, in dem schwarzen 14 Linien. Als der Boden der rothen Röhre an den Knopf eines geladenen Elektroskops angelegt, und die Stahlnadel mit der Hand gefafst wurde, verminderte sich die Divergenz des Instruments in einer Minute nicht, aber dasselbe wurde in wenigen Sekunden entladen, als die schwarze Röhre zu dem Versuche benutzt wurde.

Das braune Bleihyperoxyd (PbO_2) fand Rosenschöld fast so gut leitend, wie das schwarze Schwefelquecksilber, während das Bleihyperoxydul, die Mennige (Pb_3O_4) ein schlechter Leiter ist.

Das Diagometer. Zur Untersuchung des Leitungsver- 31
mögens flüssiger und pulverförmiger Substanzen, hat man noch andere Methoden gebraucht, als die bereits erwähnten. Heidmann schlug vor [1]), solche Substanzen in eine Glasröhre zu schütten, diese zwischen einer Elektricitätsquelle und einem Leiter einzuschalten, und aus der Stärke der Elektrisirung des letztern auf das Leitungsvermögen der Substanz zu schliefsen. Ein ähnliches Princip liegt dem Instrumente zu Grunde, das Rousseau unter dem Namen Diagometer angegeben [2]), und

[1]) Heidmann Theorie d. Elektricität.* Wien 1799. 1.191.
[2]) *Annales de Chimie.* 25.373. (1824).

Digitized by Google

[31] zur Untersuchung einiger Stoffe in Anwendung gebracht hat. Dies Instrument besteht aus einer trockenen Säule und einem eigenthümlichen Elektroskope. Die Säule *a* (Fig. 9.) und das Elektroskop *b c d* sind auf eine Schellackplatte gestellt, und daher von einander und vom Erdboden isolirt. Das Elektroskop besteht aus 3 verticalen Messingstäben, die durch ein horizontales Stück mit einander verbunden sind; auf den ersten Stab ist eine Kupferschale *b* gelöthet, der zweite trägt eine Kugel *c*, der dritte ist zugespitzt und trägt die schwach magnetisirte Stahlnadel *d*, die an einem Ende mit einer leichten Metallscheibe versehen ist. Das Instrument wird so aufgestellt, dafs die drei verticalen Stäbe im magnetischen Meridiane stehen, und daher die Magnetnadel die Kugel *c* berührt. Eine Glasglocke umgiebt die Stäbe *c* und *d*, und schützt die Nadel gegen Luftströmung. Verbindet man durch einen Drath die Metallschale *b* mit dem Ende der trockenen Säule, so wird diese sogleich entladen, die Kugel *c* und die Magnetnadel werden durch Mittheilung elektrisch, und die Nadel wird um einen Winkel abgestofsen, zu dessen Schätzung an der Glasglocke ein Gradbogen befestigt ist. Bei dieser Elongation ist die elektrische Abstofsung zwischen Kugel und Nadel, und die magnetische Directionskraft der letzteren im Gleichgewichte. Geschieht hingegen die Verbindung von Schale und Säule durch einen unvollkommenen Leiter, so wird die Nadel zwar abgestofsen, aber ihre gröfste Elongation tritt nicht augenblicklich ein, sondern nach Verlauf der Zeit, die zur Entladung der Säule nöthig ist. Aus dieser Zeit läfst sich daher, wie §. 22, auf das Leitungsvermögen des angewandten Stoffes schliefsen. Zur Verbindung der Säule mit dem untersuchten Stoffe in der Metallschale dient der Metallbügel *e*, der, bis auf seine Endflächen, mit Schellack überzogen ist, und stets zu gleicher Tiefe in die Schale eintaucht. — Die Prüfung einer Flüssigkeit oder eines Pulvers, die man in die Schale *b* gethan hat, ist wenig zeitraubend; man giebt dem unteren Ende der trockenen Säule eine gute Ableitung, hängt den Bügel *e* ein, und beobachtet an einer Sekunden-Uhr die Zeit, die bis zur gröfsten Elongation der Nadel vergeht; je gröfser diese Zeit, desto unvollkommener ist das Leitungsvermögen der Substanz. So fand

Digitized by Google

Rousseau, dafs Olivenöl ein viel geringeres Leitungsvermö- [31]
gen besitzt, als die übrigen fetten Oele, so dafs die Beimischung eines anderen Oeles zu dem ersten (selbst zu $\frac{1}{100}$ Gewichtstheil) am Instrumente merkbar wird. Das Olëin der Fettarten leitete viel besser, als das Stearin. Von pulverförmigen Stoffen wurde Kaffee und Chokolade untersucht [1]). Die geröstete gepülverte Kaffeebohne war nicht leitend, wurde aber durch Beimischung von Cichorien leitend. Chokolade aus reinem Kakao leitete nicht, wohl aber, wenn sie mit Mehl versetzt war.

Leitungsvermögen luftförmiger Stoffe. Elek- 32
trisches Verhalten des Vacuum. Das Leitungsvermögen einer Luftart wird direct bestimmt, indem man den elektrischen Zustand eines Körpers, der von dieser Luft umgeben ist, in gemessenen Zwischenzeiten untersucht. Der Elektricitätsverlust in der Zeiteinheit giebt dann das Maafs für das Leitungsvermögen der Luftart. Auf diese Weise ist die Leitung durch die atmosphärische Luft, die mit dem Namen der Zerstreuung belegt wird, studirt worden, von welcher Untersuchung in einem folgenden Kapitel die Rede sein wird. Als Resultat ergab sich, dafs die atmosphärische Luft, wie schon aus den ersten elektrischen Versuchen, die überhaupt angestellt wurden, hervorging, zu den unvollkommenen Leitern gehört, und dafs ihr Leitungsvermögen, zu verschiedenen Zeiten verschieden, von ihrem hygrometrischen Zustande abhängt. Das Leitungsvermögen der abgesperrten Gase und Dämpfe ist theils auf dieselbe Weise untersucht, theils nach dem Eintreten gewisser Entladungserscheinungen, zumeist des elektrischen Lichtes, geschätzt worden. Man hat allgemein gefunden, dafs gehörig getrocknete Gase und trockene Dämpfe die Elektricität nur unvollkommen leiten. (§. 372.)

Eine eigene und sehr wichtige Frage bietet das Verhalten 33
elektrisirter Körper im luftleeren Raume, oder, wie es uneigentlich genannt wird, das Leitungsvermögen des Vacuum. Ist die Leitung der Elektricität in der That in dem Elektrischwerden der den elektrisirten Körper umgebenden Körper begründet, so erledigt sich diese Frage von selbst. Wenn der Körper von

[1]) *Comptes rend. de l'Acad. de Paris.* 1839. 2. 701.

Digitized by Google

[33] keinen materiellen Theilen umgeben ist, welchen er seine Elektricität fortwährend mittheilen kann, so mufs er seinen elektrischen Zustand in jedem Zeitraume unverändert beibehalten. Man hat keine Mühe gescheut, dies Resultat durch das Experiment zu prüfen. Eine absolute Leere ist nicht zu erhalten; der evacuirte Raum in der Campane der Luftpumpe, wie der Raum über der Quecksilbersäule des Barometers, enthält stets noch Luft oder Dämpfe, die von dem Quecksilber oder der Sperrflüssigkeit herrühren, und eine bemerkte Leitung der Elektricität kann diesen Luft- oder Dampftheilen zugehören. Dennoch ist man zu Resultaten gelangt, die es wahrscheinlich machen, dafs ein elektrisirter Körper in einem vollkommen luftleeren Raume seine Elektricität für immer behalten würde. Ich lasse die Beschreibung dieser wichtigen Versuche hier folgen.

34 Walsh[1]) füllte, wie es früher Charles Cavendish gethan hatte (§. 686.), eine lange zweischenklig gebogene Glasröhre mit Quecksilber, und stellte sie vertical auf, indem er ihre Mündungen in isolirte mit Quecksilber gefüllte Gefäfse tauchen liefs. Es entstand so ein Doppelbarometer, dessen gekrümmter leerer Raum, durch beide Quecksilbersäulen geschlossen, mehrere Fufse mafs. Theilte man dem einen Gefäfse Elektricität mit, so ging diese mit violettem Lichte durch den leeren bogenförmigen Theil der Röhre, und das zweite Gefäfs erschien so stark elektrisch, dafs daraus Funken gezogen werden konnten. Aber dieser Erfolg wurde durch Luft- und Wassertheile in dem leeren Theile der Röhre bedingt. Denn als mit Hülfe de Luc's das Quecksilber in den beiden Röhren ausgekocht worden war, erschien, bei Wiederholung des Versuchs, weder ein Lichtschein in der nun vollkommeneren Leere, noch konnte, bei der Elektrisirung des ersten Behälters, in dem zweiten eine Spur von Elektricität entdeckt werden. Dieser Versuch lehrte, dafs in einem von wägbarer Materie freien Raume die Elektricität nicht fortgepflanzt wird; er ist aber schwer zu wiederholen, da das Auskochen des Queck-

[1]) de Luc Neue Ideen zur Meteorologie.* 1.414. Gilbert Annalen der Physik.* 11.161.

Digitized by Google

silbers in einer langen Glasröhre schwierig und nicht ohne Ge- [34]
fahr ist. Man hat daher versucht, das Experiment in bequemerer Weise anzustellen.

Morgan[1]) stellte eine an einem Ende zugeschmelzte mit 35
Quecksilber gefüllte Glasröhre von 15 Zoll Länge in ein weites Gefäfs, das zur Hälfte mit Quecksilber gefüllt war (Fig. 10.). Das Gefäfs war durch eine Metallplatte luftdicht geschlossen, und diese mit einer Ansatzröhre *C* versehen, die mit einer guten Luftpumpe in Verbindung gesetzt wurde. Die Glasröhre war, 5 Zoll vom verschlossenen Ende hinab, an der Aufsenseite mit Stanniol bekleidet. Es wurde nun die Luft in dem Gefäfse so weit verdünnt, dafs das Quecksilber in der Glasröhre hinabsank, und einen leeren Raum von nahe 15 Zoll Länge über sich liefs. Setzt man das mit Metall bekleidete Ende einer Glasröhre mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine in Verbindung, so wird die der Belegung entsprechende innere Fläche der Glasröhre sehr stark elektrisch, und die daselbst vorhandene Elektricität folgt mit Leichtigkeit jedem dargebotenen Leiter. Wirklich ging, als Morgan diesen Versuch ohne weitere Vorsicht an der leeren Röhre anstellte, Elektricität mit grünem oder violettem Lichte durch die scheinbare Leere der Glasröhre; als aber vor Anstellung des Versuches das Quecksilber in der Röhre lange und sorgfältig ausgekocht, und so ein besserer leerer Raum erhalten worden war, erschien auch bei stärkster Elektrisirung der Röhre kein Licht in ihrem Innern, und aufserdem konnte an dem Verhalten der Stanniolbelegung der Röhre gezeigt werden, dafs keine Spur von Elektricität durch den leeren Raum zur Erde geleitet worden war. Um diese Leitung möglich zu machen, war das Quecksilber des Gefäfses durch einen Drath mit der Metallröhre *C*, und diese mit der Erde verbunden.

P. Erman[2]) nahm ein gewöhnliches gut ausgekochtes Ba- 36
rometer, dessen leerer Raum 6 Zoll lang war, in welchem sich ein an der obersten Stelle der Röhre eingeschmelzter Platindrath befand. Ein empfindliches Elektroskop wurde mit dem

[1]) *Philosoph. transactions f.* 1785.* *p.* 272.
[2]) Gilbert Annalen.* 11.165.

Digitized by Google

[36] isolirten Quecksilber des Barometergefäfses verbunden; es blieb unbewegt, als der Platindrath in dem leeren Raume durch Mittheilung elektrisirt wurde. Hätte der leere Raum eine leitende Verbindung zwischen dem Platindrathe und der Quecksilbersäule abgegeben, so hätte sich eine Divergenz des Elektroskops zeigen müssen. H. Davy[1]) schmelzte in dem geschlossenen Ende einer langen gebogenen Glasröhre einen Platindrath *B* ein (Fig. 11.), und setzte das offene Ende der Röhre mittels eines Hahnstückes mit einer Luftpumpe in Verbindung. Nachdem die Röhre mit Quecksilber gefüllt und sorgfältig ausgekocht war, wurde das Quecksilber durch Spiel der Pumpe zum Sinken gebracht, so dafs ein leerer Raum *BC* von 20 Zoll Länge entstand. In das untere Ende des Drathes *B* waren zwei feine Dräthe frei beweglich eingehängt; diese divergirten in der Leere, wenn der Knopf von *B* elektrisirt wurde. Dies würde nicht der Fall gewesen sein, wenn die Elektricität sich durch den leeren Raum hindurch nach dem Quecksilber hin hätte verbreiten können.

37 Unter der Campane einer Luftpumpe läfst sich nur ein unvollkommen leerer Raum herstellen; dafs dieser die Elektricität nicht besser leitet, als ein luftvoller, zeigten folgende Versuche. Dessaignes[2]) sah ein Elektroskop unter einer exantlirten Glocke zwei Stunden lang divergiren. Harris[3]) führte einen Drath luftdicht in eine Campane, und verband ihn aufserhalb mit einem Elektroskope. Als der Drath elektrisirt war, und das Elektroskop 40° zeigte, verdünnte er die Luft der Campane bis $\frac{1}{60}$ ihrer früheren Dichtigkeit, ohne dafs eine merkliche Abnahme der elektrischen Divergenz stattfand. Der obere Theil eines Goldblattelektroskops wurde auf den Hals eines kleinen Glasballons luftdicht aufgeschraubt, und elektrisirt unter die Campane einer Luftpumpe gestellt. Die Goldblätter behielten ihre Divergenz, als die Luft bis $\frac{1}{76}$ ihrer Dichtigkeit verdünnt war. Dies war gleichfalls der Fall, als die Goldblätter ohne Ballon unter der Campane standen, und die Luft bis $\frac{1}{300}$ ihrer Dichtigkeit verdünnt war.

[1]) *Philosoph. transact. f.* 1822. Gilbert Annalen* 72.366.

[2]) Gilbert Annalen.* 48.50.

[3]) *Philosoph. transact.** *f.* 1834. *p.* 213. *ff.*

Digitized by Google

Ich stellte ein Goldblattelektroskop auf den Glasteller ei- [37]
ner Luftpumpe [1]), und bedeckte es, nachdem ich jenem eine Divergenz von $5\frac{1}{2}$ Linien gegeben hatte, mit einer Glasglocke; nach 55 Minuten war die Divergenz auf 4 Linien gesunken. Das Elektroskop wurde aufs Neue zu $5\frac{1}{2}$ Linien elektrisirt, die Luft unter der Campane bis 4 Linien Quecksilberdruck verdünnt. Nach 68 Minuten, während dessen die Luftverdünnung unverändert geblieben war, divergirten die Goldblätter noch 5 Linien. Auch stärkere Elektrisirungen erhalten sich in einem luftverdünnten Raume, wenn man nur dafür sorgt, dafs der elektrisirte Körper in gehöriger Entfernung von jedem Leiter bleibe. Es wird später gezeigt werden, dafs diese Entfernung desto gröfser sein mufs, je verdünnter der benutzte Luftraum ist. Ich deckte einen hohlen Glascylinder, der auf dem Teller einer Luftpumpe stand, mit einer Messingplatte, die aufserhalb mit zwei isolirten Hollundermarkpendeln verbunden war, und von der nach innen ein Drath mit einer $4\frac{1}{2}$ Linien dicken Metallkugel hinabging. Die Metallplatte wurde stark elektrisirt, so dafs die Pendel $\frac{5}{4}$ Zoll divergirten; nachdem die Glocke bis 3 Linien Barometerhöhe exantlirt worden war, konnten die Pendel auf gleiche Divergenz, wie früher, gebracht werden. Die Metallkugel in der Glocke stand hierbei 7 Zoll 5 Linien von der Saugröhre der Pumpe entfernt. Betrug diese letzte Entfernung aber nur 4 Zoll, so ging bei Elektrisirung der Pendel die Elektricität sogleich mit bläulichem Lichte durch die Campane zur Saugröhre. Bei gewöhnlicher Dichtigkeit der Luft unter der Glocke fand dieser Uebergang der Elektricität nicht Statt.

Einfluſs der Wärme auf das Leitungsvermögen der Isolatoren.

Bei allen bisher aufgeführten Körpern ist angenommen, 38
dafs ihr Leitungsvermögen bei der mittleren Lufttemperatur untersucht worden. Wendet man höhere Temperaturen an, so zeigen die unvollkommenen Leiter, von welchen hier allein die Rede sein kann, ein merklich verschiedenes Leitungsvermögen,

[1]) Repertorium d. Physik. 2. 15.

Digitized by Google

[38] und zwar leiten sie zuvörderst weniger gut als früher. Dies ist indeſs in den meisten Fällen, vielleicht überall, nur eine sekundäre Wirkung der Wärme. Alle Körper nämlich condensiren, wie bereits §. 25 bemerkt wurde, den stets in der Luft vorhandenen Wasserdampf auf ihrer Oberfläche, und erhalten durch diesen feuchten Ueberzug ein nicht geringes Leitungsvermögen. Je höher die Temperatur eines Körpers, desto geringer wird dieser Niederschlag, und verschwindet bei einem gewissen Wärmegrade gänzlich, daher denn die von Natur besten Isolatoren, wie Glas, Glimmer, Schellack häufig sich erst erwärmt als vollkommene Nichtleiter zeigen. Erman hat angegeben [1]), daſs, unabhängig von der erwähnten Ursache, einige glasige Mineralien durch geringe Temperaturerhöhung aus Leitern zu Isolatoren der Elektricität werden. Es sind dies: Marekanit, sowohl der durchsichtige als der nur durchscheinende (Perlstein), Obsidian, einige Laven und der Dichroit; Exemplare davon leiteten unter 15° R. gut, über 15° R. weniger und bis 30° erwärmt, gar nicht. Um die Feuchtigkeit von der Oberfläche der Stücke zu entfernen, waren sie mehrere Tage lang über concentrirter Schwefelsäure aufbewahrt worden; doch läſst sich zweifeln, ob dieser Zweck vollkommen erreicht, und ob nicht durch Anwendung der Wärme die noch übrige Feuchtigkeit entfernt und dadurch die Isolation bewirkt wurde.

39 In entgegengesetzter Weise und unzweideutig wirkt ein hoher Hitzegrad auf einige Isolatoren, indem diese dadurch leitend werden und zwar lange zuvor, ehe sie ihren Aggregatzustand ändern. Das bekannteste Beispiel hiervon giebt das Glas, und es ist leicht, sich davon zu überzeugen. Man umwickele einen dünnen Glasstab 1 Zoll vom Ende mit Platindrath, und lege die erhitzte Glasspitze an ein geladenes Elektroskop, während der Drath mit der Hand berührt wird. Auch bei einer Temperatur, welche die des kochenden Wassers übersteigt, isolirt das Glas noch vollkommen, erhitzt man es aber heftig in einer Spiritusflamme, so entladet es beim Anlegen

[1]) Poggendorff Annalen. 25.607.

Digitized by Google

das Elektroskop sogleich. H. Cavendish[1]) hat in folgender [39]
Weise die Temperatur zu bestimmen gesucht, bei welcher ein dicker Glasstab die Elektricität zu leiten anfing. Eine zweimal gebogene Glasröhre (Fig. 12.), deren Mitte von *B* bis *C* solide war, wurde an den Enden mit zwei Metalldräthen versehen, die bis zum soliden Stück hinabreichten, und äuſserlich durch einen Drath mit der Erde verbunden. Das solide Glasstück wurde in ein eisernes mit Eisenfeilicht gefülltes Gefäſs gelegt, und bis zu einem durch ein Thermometer gemessenen Grade erhitzt. Als die Temperatur im Gefäſse 253° R. betrug, ging Elektricität, die dem Drathe *E* mitgetheilt, und durch die daran befestigten Pendel angezeigt wurde, sogleich verloren, wenn man den gegenüberliegenden Drath *A* berührte. Dies war noch der Fall, als das Glas bis 163° abgekühlt war; bei geringerer Temperatur blieb der Erfolg aus, weil alsdann das zwischen den Dräthen befindliche Glasstück die Elektricität nicht mehr ableitete. Auf eben die Weise kann man das Leitungsvermögen erwärmter Harze und Fettarten untersuchen, wobei man die Glasröhre mit hohlem Mittelstück und keine Temperatur über 160° anzuwenden hat. Harze und Bienenwachs werden schon leitend bei einer Temperatur, die sie mäſsig erweicht; flüssig sind diese Stoffe gute Leiter.

Ein durch Erhitzung flüssiges Harz ist nach dem Vorher- 40
gehenden ein guter Leiter, der durch Temperaturerniedrigung fest und zu einem Nichtleiter wird. Dasselbe findet bei dem Wasser statt, das in flüssiger Form gut leitet, in fester hingegen ein nach der Temperatur verschieden vollkommener Isolator ist. Schon Franklin bemerkte, daſs das Eis nicht leitet[2]), gab indeſs den experimentellen Beweis nicht vollständig genug, um jeden Zweifel zu entfernen. Achard[3]) verschaffte sich Eisstücke, die völlig frei von Luftblasen waren, indem er Wasser in Gefäſsen frieren lieſs, die an einer Seite bis über den Gefrierpunkt erwärmt waren. Aus diesem Eise

---

[1]) *Franklin experiments and observations 5th. ed.* Lond. 1774. *p.* 411.

[2]) *Experiments and observations.* *p.* 36.

[3]) Chymisch-physische Schriften. Berl. 1780. S. 11.

Digitized by Google

[40] schnitt er mit einer warmen Säge verschieden geformte Stücke, und experimentirte mit diesen an kalten Wintertagen in freier Luft. Ein 2 Fuſs langes Eisprisma von 2 Zoll Dicke wurde bei — 8° R. an ein Metallstück angelegt, das durch eine Maschine elektrisirt war; das Prisma zeigte sich elektrisch, aber in desto stärkerem Grade, je näher die untersuchte Stelle dem Metallstücke lag. Hieraus folgt, daſs Eis bei — 8° R. zu den unvollkommenen Elektricitätsleitern gehört. Je tiefer die Temperatur sank, desto schlechter leitete das Eis, und als der Versuch bei — 20° R. wiederholt wurde, blieb das Eis unelektrisch, das Metallstück behielt seine Elektricität vollkommen, obgleich es durch das Eisstück mit der Erde in Verbindung gesetzt war. Bei dieser Temperatur muſste das Eis, gleich einer Glasscheibe, durch Reiben elektrisch werden; Achard verfertigte ein Eissphäroid, dessen Axen 14 und 10 Zoll betrugen, befestigte es an einer horizontalen eisernen Axe, und drehte es um, während dagegen ein mit Stanniol bekleidetes Kissen drückte. Das Eis wurde stark elektrisch, und verhielt sich demnach wie ein vollkommener Nichtleiter.

41 Gase und Dämpfe sind desto vollkommenere Nichtleiter der Elektricität, je trockener sie sind. Die Trockenheit eines luftförmigen Körpers nimmt zu mit der Abnahme des Wasserdampfes in einem bestimmten Volumen, und auſserdem mit der Zunahme der Temperatur. Selbst ein nur mit Wasserdampf erfüllter Raum kann durch Temperaturerhöhung trocken erhalten werden, und ist in diesem Zustande nichtleitend (§. 642.). Die Wärme vermindert daher indirect das Leitungsvermögen der Gase und Dämpfe durch Austrocknung; ob sie eine directe Wirkung hat, ist nicht bekannt, doch kann durch diese keine Vergröſserung des Leitungsvermögens eintreten, da man stark erhitzte Luft nichtleitend gefunden hat. Read[1]) brachte ein Paar geladene elektroskopische Pendel in einen heiſsen Backofen, aus dem das Feuer genommen war. Obgleich die Hitze so stark war, daſs das eine Pendel zerstört wurde, fand sich das andere

[1]) *Summary view of the electr. of the earth Lond.* 1793. Saxtorph Elektricitätslehre übers. von Fangel.* Kopenhagen 1803. 1. 222.

Digitized by Google

nach dem Herausnehmen noch elektrisch. Erman[1]) hat den- [41]
selben Versuch in einem stark ziehenden Windofen mit gleichem Erfolge wiederholt.

Man reibe ein Bernsteinstück, und lasse es eine Papier- 42
faser anziehen, die daran haften bleibt; bringt man den Bernstein in die Nähe eines brennenden Körpers, so fällt das Papier ab, da der Bernstein plötzlich unelektrisch geworden ist. Dieser Versuch ist sehr frühe angestellt worden[2]), und man hat später daraus geschlossen, daſs die Flamme brennender Körper ein vollkommener Leiter der Elektricität sei. Ein anderer Versuch schien dies zu bestätigen. Man stelle auf jedes Ende eines isolirten Metallstreifens eine brennende Kerze, und hänge in einiger Entfernung über jede Kerze ein Metallstück an Seidenfäden auf; elektrisirt man das eine Metall, so zeigt sich das andere sogleich elektrisch, aber der Erfolg bleibt aus, wenn eine von beiden Kerzen ausgelöscht wird[3]). Es scheint die Elektricität des einen Metalles durch beide Flammen zum anderen Metalle fortgeleitet zu sein, und in der That läſst sich in diesem Versuche eine leitende Verbindung zwischen beiden nachweisen. Die Kerzenflamme besteht aus Gasen, die sich durch die Verbrennung mit dem Sauerstoffe der Luft zu tropfbaren Flüssigkeiten und Wasser verbinden. Ueber der Flamme erhebt sich eine Dampfsäule der gebildeten Flüssigkeiten, die durch Abkühlung feucht wird, und daher die Elektricität leitet. Aber die Flamme wirkt nicht allein durch diese Bedingung, sie wirkt noch aus groſser Ferne und unter Umständen, wo die Leitung durch die feuchte Dampfsäule nicht in Anschlag gebracht werden kann. Brennende und glimmende Körper, an welchen kein leitender Dampf gebildet wird, heben dennoch die Elektricität eines genäherten Körpers auf, und es kann daher die Wirkung der Flamme nicht allein in einer Leitung bestehen. Ich werde diese Wirkung später (§. 255 u. folg.) näher betrachten, und habe sie hier nur aufgeführt, da eine

---

[1]) Abhandlungen d. Akad. d. Wissensch. Berlin.* 1819. 11te Seite d. Abh.

[2]) *Saggi di naturali esperienze fatte nell' accad. del Cimento.* Firenze* 1667. *p.* 229.

[3]) Waitz Abhandlung von d. Elektricität.* Berl. 1745. 52.

Digitized by Google

[42] sehr nützliche Anwendung davon gemacht wird. Es kommt häufig bei Versuchen vor, daſs ein elektrisirter Isolator unelektrisch gemacht werden soll. Man kann sich hierzu zuweilen der leitenden Eigenschaft des Wassers bedienen, indem man den Isolator durch starkes Anhauchen mit einer Wasserschicht überzieht. Soll der Isolator aber vollkommen isolirend bleiben, so muſs man ihn danach mit einem leinenen Tuche sorgfältig abtrocknen, wobei die Elektrisirung durch Reibung zu vermeiden ist. Leichter und bei Weitem sicherer ist zu dem genannten Zwecke die Anwendung der brennenden Körper. Man führt den Isolator in der Höhe von einigen Zollen über eine Spiritusflamme fort, oder führt, wo dies nicht angeht, eine glimmende Räucherkerze der Oberfläche des Isolators entlang. In dieser Weise kann eine heftig geriebene Siegellackstange in wenigen Sekunden so unelektrisch gemacht werden, daſs sie das empfindlichste Säulenelektroskop nicht mehr afficirt. Wir verlassen hier die elektrische Leitung, aber nur, um sie stets im Auge zu behalten, da von ihr alle elektrischen Versuche wesentlich abhangen.

Digitized by Google

Drittes Kapitel.

Maafs des elektrischen Zustandes.

Die Elektricitätsmenge.

Es ist bisher der gröfseren oder geringeren Stärke des elek- 43
trischen Zustandes gedacht worden, die nach der Gröfse der Divergenz eines Elektroskops beurtheilt wurde. Wir haben nämlich gesehen (§. 4.), dafs ein Körper eine desto gröfsere Divergenz hervorbrachte, je stärker er gerieben und in je kürzerer Zeit nach dem Reiben er an das Elektroskop angelegt war. Aber dieser Schlufs von der Divergenz des Elektroskops auf die Erregung eines Körpers ist nur erlaubt, wenn die mit einander verglichenen Divergenzen von demselben Körper oder von zwei einander gleichen Körpern herrühren. Die Divergenz ist eine elektrische Wirkung, von der elektrischen Erregung in so complicirter Weise abhängig, dafs sie niemals ein Maafs, in vielen Fällen nicht einmal das Zeichen des Mehr und Weniger der Erregung abgiebt. Ein Beispiel genügt, dies zu zeigen. So lange wir zwei identische Körper elektrisiren, wird eine gleiche Divergenz, welche diese Körper an einem Elektroskope hervorbringen, anzeigen, dafs sie durch eine gleich starke Erregung elektrisch gemacht sind. Dies ist aber nicht der Fall, wenn die beiden Körper verschiedene Dimensionen besitzen. Man fertige aus gleichen Silberdräthen zwei Elektroskope (§. 3.), gebe aber dem ersten einen langen, dem zweiten einen kurzen Zuleiter. Versucht man nun mit der elektrischen Spritze (§. 7.) beide Instrumente zu gleicher Divergenz zu bringen, so findet man, dafs für das kurze Elektroskop eine geringere Bewegung des Stempels dazu hinreicht, als für das lange, also eine verschieden lang anhaltende Erregung nöthig ist zu einer Divergenz von gleichem Betrage. Man kann ferner die Elektroskope dadurch entladen, dafs man eine kleine isolirte Kugel

Digitized by Google

[43] zu wiederholten Malen an ihre Zuleiter anlegt, und die Kugel nach jeder Berührung entladet. Wenn beide Elektroskope gleiche Divergenz haben, so wird eine gröfsere Anzahl von Berührungen zur Entladung des langen Elektroskops nöthig sein, als zu der des kurzen. Was hier der Einfachheit wegen an zwei gleichen Elektroskopen bemerkt worden, tritt gleichfalls ein, wenn man nur ein Elektroskop und zwei verschieden grofse elektrisirte Körper in Anwendung bringt. Es folgt hieraus, dafs die Divergenz eines Elektroskops direct uns Nichts über die Erregung lehrt, die ein angelegter Körper erfahren hat, und dafs die elektrischen Wirkungen des Körpers, die nothwendig von der Erregung abhangen, nur indirect mit den Divergenzen des Elektroskops in Zusammenhang gebracht werden können. Somit behalten wir die elektroskopischen Anzeigen nur bei, um die Existenz des elektrischen Zustandes zu constatiren, und gehen zur näheren Bestimmung dieses Zustandes auf die Gröfse der Erregung zurück. Der Kürze des Ausdruckes wegen vergleicht man die Ursache des elektrischen Zustandes, die Elektricität, einer Materie, und die Erregung dem Hinzuführen dieser Materie in gröfserer oder geringerer Menge. Die ***Elektricitätsmenge*** eines Körpers giebt hiernach die Gröfse der elektrischen Erregung, die der Körper erfahren hat.

44 Um für die relativen Elektricitätsmengen zweier Körper einen Zahlenausdruck zu erhalten, denkt man sich die Erregung der Körper in einzelnen gleichwerthigen Akten vollführt, und zählt die Anzahl der Akte, die dem elektrischen Zustande eines jeden Körpers zukommen. Die Elektricitätsmengen zweier Körper verhalten sich wie 1 zu 2, soll hiernach sagen, dafs von bestimmten elektrischen Erregungen, von welchen jede den elektrischen Zustand eines Körpers in gleicher Weise steigert, der zweite Körper eine noch einmal so grofse Anzahl wie der erste, erfahren hat. Die directen Arten, die Elektricitätsmenge zu bestimmen, sind verwickelter Natur und können hier noch nicht beigebracht werden; doch läfst sich die Möglichkeit solcher Bestimmung an den Versuchen des §. 43 zeigen. Es sei in dem ersten Versuche die Glasröhre der elektrischen Spritze in gleiche Theile getheilt, so wird die Anzahl der Theil-

Digitized by Google

striche, über die der Stempel bei dem Laden des Elektroskops [44]
fortbewegt wird, ein annäherndes Maafs der Elektricitätsmenge
abgeben, die zur Erhaltung der bestimmten Divergenz nöthig
ist. Genau würde dies Maafs sein, wenn bei Bewegung über
jeden Theilstrich der elektrische Zustand des Elektroskops um
gleichviel gesteigert würde, was nicht der Fall ist. In dem
zweiten Versuche kann die Anzahl der Berührungen des Elek-
troskops mit der kleinen Kugel zum Maafse der Elektricitäts-
menge genommen werden. Einen genauen Werth würde man
hierdurch erhalten, wenn der elektrische Zustand des Elektro-
skops durch jede Berührung um gleich viel vermindert würde,
was wiederum erweislich nicht der Fall ist.

Nachdem die Abhängigkeit einzelner elektrischer Wirkun- 45
gen von der Elektricitätsmenge ausgemacht worden, benutzt
man eine elektrische Wirkung zur indirecten Bestimmung der
Elektricitätsmenge, die in den meisten Fällen leicht und genau
zu erhalten ist. Hierdurch ist es gekommen, dafs man in die
Definition der Elektricitätsmenge häufig eine elektrische Wir-
kung, die Abstofsung, hineingebracht hat, durch welche jene in-
direct gemessen wird. Die Definition ist aber von dieser, wie
von jeder elektrischen Wirkung, unabhängig, und es ist für
die ganze Elektricitätslehre von der äufsersten Wichtigkeit,
die Definition rein und in der angegebenen Weise aufzufassen.
Hierbei kann eine Schwierigkeit bemerkt werden. Wenn die
Elektricitätsmenge allein durch die Gröfse der elektrischen Er-
regung bestimmt werden soll, so bedarf man einer, von der
elektrischen Wirkung unabhängigen Prüfung, um sich zu über-
zeugen, dafs eine angewandte Methode diese Bestimmung ge-
währe. Hierzu dient ein specieller Fall, in welchem das Ver-
hältnifs zweier Elektricitätsmengen für sich klar erscheint. Zwei
gleiche isolirte Kugeln aus einem gutleitenden Stoffe seien in
Berührung gesetzt und elektrisirt; die grofse Leichtigkeit, mit
welcher die Kugeln elektrisch werden, macht es sehr wahr-
scheinlich, dafs, wie auch die elektrische Erregung beschaffen
sein mag, genau die Hälfte der ganzen Erregung zur Elektri-
sirung jeder Kugel verwendet wird. Hat man daher eine Me-
tallkugel, die durch die unbekannte Anzahl n gleichwerthiger
Erregungsakte elektrisirt ist, und man berührt die Kugel auf

Digitized by Google

[45] einen Augenblick mit einer ihr gleichen nicht elektrisirten Kugel, so schliefst man, dafs die erste genau in dem Maafse elektrisch zurückbleibt, als wenn sie durch $\frac{n}{2}$ Erregungsakte elektrisirt worden wäre. Es kann daher die Elektricitätsmenge einer Kugel auf $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ u. s. f. ihres anfänglichen Werthes gebracht werden. Diese auf einer, wenn auch sehr plausiblen, Voraussetzung beruhende Bestimmung der Elektricitätsmenge wird nicht allein häufig angewendet, sondern sie liegt nach der obigen Bemerkung einer jeden Messung der Elektricitätsmenge zu Grunde, durch welche Methode auch jene ausgeführt werden mag.

Die elektrische Dichtigkeit.

46 Der Begriff der Elektricitätsmenge reicht vollkommen aus, alle Wirkungen der Elektricität und deren Abhängigkeit von einander mit Bestimmtheit aufzufassen, ohne dafs man nöthig hat, an der Elektricität besondere Zustände zu unterscheiden. Solche Zustände, die in den meisten Werken über Elektricität unter den Namen Intensität, Spannkraft, Tension, freie Tension sich bezeichnet finden, sind von besonderen elektrischen Wirkungen hergenommen, und haben eben dadurch, dafs man ihre specielle Bedeutung häufig vergafs, zu nicht geringer Verwirrung Anlafs gegeben. Ich werde mich im Verlaufe dieses Werkes dieser Ausdrücke nicht bedienen, und möchte auch den folgenden Ausdruck „Dichtigkeit“ nur als eine Abkürzung betrachtet wissen, die der Kürze des Ausdruckes wegen aufgenommen wird. Viele elektrische Wirkungen hangen nicht allein von der Elektricitätsmenge ab, die der wirkende Körper besitzt, sondern auch von der Gröfse des Körpers oder bestimmter, von der Ausdehnung seiner Oberfläche. Es genügt alsdann nicht, zu wissen, welche Elektricitätsmenge der Körper besitzt, man mufs auch die Ausdehnung seiner Oberfläche kennen, oder, was dasselbe ist, den Theil der Elektricitätsmenge, der jeder Oberflächeneinheit zukommt. Diese Elektricitätsmenge der Oberflächeneinheit eines Körpers bestimmt die Dichtigkeit der Elektricität, oder kürzer die ***elektrische Dichtigkeit*** des Körpers. Besitzt also ein Körper, dessen Oberfläche durch s ge-

Digitized by Google

messen wird, die Elektricitätsmenge q, so wird gesagt, dafs [46]
seine elektrische Dichtigkeit $\frac{q}{s}$ sei. Es ist häufig gerathen, diesen Bruch nicht auf seinen einfachsten Zahlenwerth zu bringen, damit der Zähler die vorhandene Elektricitätsmenge, auf ihre einmal gewählte Einheit bezogen, angebe. Bei Körpern mit gleicher Oberfläche ist offenbar das Verhältnifs der Elektricitätsmengen dem ihrer elektrischen Dichtigkeiten gleich. Besitzt ein Körper an verschiedenen Stellen ungleiche Elektricitätsmengen, und giebt man die Elektricitätsmenge einer bestimmten Stelle an, so nennt man diese häufig die elektrische Dichtigkeit der Stelle. Auch in diesem Falle giebt man die Dichtigkeit des ganzen Körpers, wie früher, durch einen Bruch, indem man die ganze vorhandene Elektricitätsmenge durch die Oberfläche dividirt, der dann zum Unterschiede *mittlere* elektrische Dichtigkeit genannt wird. Bei gleichmäfsiger Vertheilung der Elektricität auf einem Körper, ist die mittlere elektrische Dichtigkeit der Dichtigkeit jeder Stelle gleich. Es kann bei dem Gebrauche dieses Ausdruckes niemals eine Zweideutigkeit entstehen, da man stets Verhältnisse von Dichtigkeiten, und somit Elektricitätsmengen betrachtet, die auf Oberflächen gleicher Ausdehnung angehäuft gedacht werden. Von einem Körper, der eine gröfsere mittlere Dichtigkeit besitzt, als ein anderer, sagt man, dafs er stärker als dieser, elektrisirt worden sei.

Ein elektrisirter Körper übt zwei von einander verschie- 47
dene Wirkungen aus, die eine, während er elektrisch ist, die andere, während er entladen wird. Man pflegt die erste Wirkung die der *ruhenden*, die zweite die der *bewegten* Elektricität zu nennen. Beide Wirkungen hangen von der Elektricitätsmenge und der elektrischen Dichtigkeit des Körpers ab; man suchte diese Wirkungen mit der elektrischen Abstofsung direct in Zusammenhang zu setzen, und construirte Instrumente, diese genau zu messen. Aber keines dieser Instrumente erfüllte den vorgesetzten Zweck in dem Maafse, wie Coulomb's Torsionswage und Elektrometer (s. den folgenden Abschnitt), da allein an diesen die beobachteten Abstofsungen mit den vorhandenen Elektricitätsmengen in einem einfachen Verhältnisse stehen. Die übrigen sogenannten Elektrometer können nicht zum Maafse

Digitized by Google

[47] eines elektrischen Zustandes gebraucht werden, sie haben heut entweder nur noch ein historisches Interesse, oder sind als Elektroskope nützlich. Ich lasse die Beschreibung der vorzüglichsten Elektroskope, die noch häufig zur Schätzung der Elektricität dienen, hier folgen, und füge die einiger neueren Instrumente hinzu, die wirkliche Messungen von Elektricitätsmengen erlauben, bisher aber noch nicht dazu angewendet worden sind.

Die Elektroskope.

48 Das Princip, welches den einfachen Elektroskopen zu Grunde liegt, ist §. 3 angegeben worden. Franklin benutzte als Elektroskop zwei Leinfäden, die an dem elektrisirten Körper selbst befestigt waren, Canton versah die Fäden mit Korkkugeln, um sie straff zu spannen. Die zunächst folgenden Einrichtungen bezwecken Unveränderlichkeit und sicheren Transport des Elektroskops.

Cavallo's Elektroskop[1]) (Fig. 13.). Ein oben zusammengezogener Glascylinder *CN*, ungefähr 4 Zoll hoch, 1 Zoll weit, ist in einem mit einem Schraubenzuge versehenen Metallfufse luftdicht eingekittet. Diese Schraube dient zur Befestigung einer Metallhülse, die beim Transporte das ganze Instrument bedeckt. In dem Halse *CD* des Gefäfses ist eine Glasröhre eingekittet, die, wie der Hals selbst, äufserlich mit geschmolzenem Siegellack bekleidet ist. In der Glasröhre befindet sich, fest eingekittet, ein Metalldrath, der oben in einer Schraube, unten in dem flachen Elfenbeinstücke *H* endigt, welches mit zwei neben einander liegenden feinen Löchern durchbohrt ist. Auf den Drath wird beim Gebrauche in freier Luft eine Messingkappe *EF* aufgeschraubt, die über das Glasgefäfs vorragt, und es vor Regen schützt. Der auf Elektricität zu untersuchende Körper wird entweder an die Schraube des Drathes oder an die Metallkappe angelegt. In die Löcher des Elfenbeinstückes sind mit Ringen zwei sehr feine gerade Silberdräthe eingehängt, welche die konischen Korkstücke *P*

[1]) *Cavallo complete treatise on electricity.* Lond. 1795. 2. 80.

Digitized by Google

tragen. Die Entfernung der Löcher von einander und die [48]
Gröfse der Korkstücke sind so gewählt, dafs sich die letzteren bei verticaler Stellung des Instruments so eben berühren. *IM* und *KN* sind zwei schmale Stanniolstreifen, die, den Pendeln erreichbar, an der Innenseite des Glascylinders befestigt sind, und den doppelten Zweck haben, die Pendel bei zu starker Elektrisirung zu entladen, und die Empfindlichkeit des Instruments zu erhöhen. Die Empfindlichkeit wird um so mehr gesteigert, je näher die Stanniolstreifen den Pendeln stehen. Man kann deshalb, nach Nicholson's Vorschlag, um dasselbe Elektroskop verschieden empfindlich zu erhalten, winkelrecht aufwärts gebogene Blechstreifen an die Stelle des Stanniols setzen, und diese in Schlitzen verschiebbar machen, um sie den Pendeln mehr oder weniger zu nähern. Durch diese Einrichtung verliert das Elektroskop aber an Einfachheit, und ist schwerer luftdicht zu erhalten.

Saussure's Elektroskop[1]) (Fig. 14.). Eine konisch 49
zulaufende Glasglocke, unten 3 Zoll weit, ist auf einem Metallfufse befestigt, und innerlich an vier äquidistanten Stellen mit Stanniolstreifen bekleidet. In zwei Löchern des eingekitteten Zuleitungsdrathes, der aufserhalb der Glocke mit einem Haken endigt, sind zwei feine Silberdräthe mit angesteckten Hollundermarkkugeln von $\frac{1}{3}$ Linie Durchmesser eingehängt. Diese Pendel sind nur 10 Linien lang, und berühren auch bei gröfster Divergenz die Glasglocke nicht; zur Beurtheilung ihrer Divergenz ist der obere Rand des Metallfufses an einer Seite in $\frac{1}{4}$ Linien getheilt. Saussure versuchte dies Elektroskop zur wirklichen Messung von Elektricitätsmengen anzuwenden, indem er das in §. 45 angedeutete Verfahren befolgte. Von zwei möglichst gleichen Elektroskopen wurde das erste elektrisirt und mit dem zweiten wiederholentlich berührt, nachdem letzteres vor jeder Berührung vollkommen entladen wurde. Hierbei wurde eine Reihe von Divergenzen beobachtet, die zu den Elektricitätsmengen 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ ... gehörten. Indem Saussure die zu dazwischenliegenden Divergenzen gehörigen Werthe der Elektricitätsmenge interpolirte, und diese experimentell cor-

[1]) *Voyages dans les Alpes.* Genève 1786. 2.194.

Digitized by Google

[49] rigirte, indem er von verschiedenen ersten Divergenzen ausging, erhielt er eine Tafel, welche die Elektricitätsmengen zu 24 Divergenzen seines Elektroskops von $\frac{1}{4}$ bis 6 Linien angab. Eine solche Tafel, die für jedes Instrument durch eigene Versuche construirt werden mufs, gewährt nur geringe Schärfe, und setzt aufserdem zwei ganz identische Elektroskope voraus. Die kleinste Abweichung in der Stellung der Pendel bei der gegenseitigen Berührung beeinträchtigt die Resultate. Es ist daher dies Verfahren nur bei gröberen Versuchen zur Bestimmung von Elektricitätsmengen anwendbar, und eine Correction der Tabelle wegen des Verlustes an Elektricität während der successiven Theilung der Elektricitätsmenge (die nach späteren Erfahrungen angebracht werden könnte), erscheint als überflüssig.

50 Volta's Elektroskop[1]). Statt der beweglichen Metalldräthe werden in diesem Elektroskope gerade Strohhalme von 2 Zoll Länge gebraucht, die von dem unteren Ende des Zuleitungsdrathes frei beweglich herabhangen. Hierzu steckt man durch die beiden Löcher kurze Enden feinen Silberdrathes, windet die Dräthe zusammen, bis sich oberhalb ein kleiner Ring bildet, und schraubt die Strohhalme auf die gewundenen Enden auf. Der Zuleitungsdrath geht isolirt durch den Holzdeckel einer vierkantigen Glasflasche von 22 Linien Seite, und endigt oben in einer gut abgerundeten Metallkappe. Die Flasche ist innerlich einen Zoll über dem Boden ringsum mit einem Stanniolstreifen bekleidet, der mit der Fufsplatte durch verticale Streifen verbunden ist. In der Höhe der Enden der Strohhalme ist an einer Glaswand ein Kreis-Bogen auf Papier gezogen, mit einem Radius von 2 Zoll, und in $\frac{1}{2}$ Linien getheilt. Die Empfindlichkeit dieses Elektroskops hängt von der Länge und dem Gewichte der Strohhalme ab; da die Scale nur 30 Theile umfafst, und bei gröfserer Divergenz die Halme an die Stanniolstreifen anschlagen, so construirte Volta mehrere Elektroskope, deren Divergenzen in einem bekannten Verhältnisse stehen sollten, damit auch sehr verschiedene Elek-

[1]) *Meteorologia elettrica lett.* 1. *c.* 2. *Collezione dell' opere del Volta.* Firenze 1816. I_2. (*tomo* I *parte* 2). Volta Meteorolog. Briefe.* Leipz. 1793.

Digitized by Google

tricitätsmengen mit einander verglichen werden könnten. Das [50]
erste Elektroskop erhielt Strohhalme von 2 Zoll Länge, $\frac{1}{8}$ Linie Dicke, das zweite Halme von $\frac{1}{2}$ Linie Dicke, die so lange verkürzt wurden, bis ihre Divergenzen nach Berührung mit demselben elektrischen Körper nur $\frac{1}{5}$ der Divergenzen des ersten Elektroskops betrugen. Es wurden ferner zwei Quadrantelektroskope (§. 52.) so abgeglichen, dafs ihre Divergenzen, nach Kreisgraden gemessen, in dem Verhältnisse 1 zu 5 standen, und ein Grad des empfindlicheren Quadrantelektroskops zwei Theilen des gröberen Strohhalmelektroskops entsprach. Diese Elektroskope, deren Divergenzen respective in dem Verhältnisse 1:5, 1:2, 1:5 standen, sollten erlauben, die an einem Instrumente beobachtete Divergenz auf ein anderes zu reduciren, so dafs a Grade am ersten Quadrantelektroskope beobachtet, $5a$ Graden am zweiten, und an den Strohhalmelektroskopen $10a$ und $50a$ Theilen entsprächen. Auf diese Art reducirte Angaben sind aber nur als eine rohe Schätzung zu betrachten, die durch später angegebene Mittel leichter zu erreichen ist.

Um von den beobachteten Divergenzen eines Elektroskops 51
auf die wirkenden Elektricitätsmengen zurückzugehen, bediente sich Volta eines Verfahrens, das zur weiteren Erläuterung des Begriffes Elektricitätsmenge (§. 43.) hier angeführt wird. Es giebt einen Apparat, den wir später unter dem Namen des Elektrophors kennen lernen werden, der, in Thätigkeit gesetzt, geraume Zeit hindurch einen unelektrischen Körper durch einmalige Berührung stets in gleicher Weise zu elektrisiren vermag. Es wurde ein Körper durch mehrmalige Berührung mit dem Elektrophore elektrisirt, und die Anzahl der Berührungen für den Ausdruck der dem Körper mitgetheilten Elektricitätsmenge genommen. Der mit verschiedenen Elektricitätsmengen elektrisirte Körper wurde an eins der §. 50 beschriebenen Elektroskope angelegt, um hiernach das Verhältnifs der Elektricitätsmengen bei den beobachteten Divergenzen zu ermitteln. Die Einheit der Elektricitätsmenge blieb hierbei gleichgültig. Volta schlug vor, eine Normaleinheit zu bestimmen, damit die Angaben von Elektroskopen verschiedener Orte und Zeiten mit einander verglichen werden könnten. Man denke sich eine Metallscheibe von bestimmtem Radius und Gewichte an den

Digitized by Google

[51] einen Arm eines empfindlichen Wagebalkens mittels eines isolirenden Fadens horizontal gehängt, und unter diese eine gleiche, an einem Glasstabe befestigte, Scheibe gestellt. Beide Scheiben werden so mit dem Gewichte der hangenden Scheibe gegen einander gedrückt; der Druck wird abnehmen (durch elektrische Abstofsung), wenn man die Scheiben elektrisirt, und bei einer bestimmten Elektricitätsmenge werden sich die Scheiben von einander trennen. Diese im Augenblicke der Trennung auf den Scheiben vorhandene Elektricitätsmenge soll zur Einheit genommen werden, die zu jeder Zeit wiederzufinden ist.

Gegen diese, für die Anwendung des Strohhalmelektroskops gemachten, Vorschläge lassen sich indefs gewichtige Bedenken in theoretischer und praktischer Rücksicht erheben, und sie sind nur merkwürdig als Belege des gefühlten Bedürfnisses, von der Beobachtung der Divergenzen zu den Elektricitätsmengen zurückzugehen. Wir besitzen jetzt zur Messung der Elektricitätsmenge genauere einwurfsfreie Mittel, und die Bestimmung einer zur Einheit festgesetzten Elektricitätsmenge, zu der die Nothwendigkeit sich bisher noch nicht herausgestellt hat, würde in verschiedener Weise leicht und mit geforderter Schärfe geleistet werden können. — Das Strohhalmelektroskop hat zu keinem vergleichbaren und messenden Werkzeuge erhoben werden können, es ist, wie jedes andere Elektroskop, nur geeignet, die Anwesenheit von Elektricität, und in gewissen Fällen ihre gröfsere oder geringere Menge erkennen zu lassen.

52 Das Quadrantelektroskop. Dies Elektroskop, für gröfsere Elektricitätsmengen bestimmt, ist zuerst von Henley gebraucht worden, nach dem es zuweilen genannt wird. Es besteht im Wesentlichen aus einem vertical gestellten Metallstabe, der am unteren Ende in der Verticalebene einen Gradbogen aus Elfenbein trägt, und an dessen oberem Ende ein, um eine horizontale Axe bewegliches, leichtes Holzstäbchen angebracht ist. Bei dem Elektrisiren des Metallstabes wird das an ihm anliegende Holzstäbchen abgestofsen, und sein unteres Ende gleitet dem Gradbogen entlang. Ein Nachtheil ist hierbei, dafs auch der Gradbogen elektrisch wird, das Holz-

Digitized by Google

stäbchen abstöfst, und eine Klemmung seiner Axe herbeiführt. [52]
Saxtorph[1]) hat dies Instrument wesentlich verbessert (Fig. 15.). Ein dicker Stab aus Buchsbaumholz *a b*, der auf einen passenden Fufs vertical gestellt wird, trägt am oberen Ende einen halben Kreisbogen, dessen Durchmesser nahe in die Verlängerung des Stabes fällt. Auf dem Stabe ist ein dünner Holzcylinder *e* befestigt, der mit einer vertical aufgeschnittenen Kugel endigt. In die Spalte der Kugel pafst mit gehörigem Spielraume eine Kreisplatte aus Elfenbein, die in der Mitte durchbohrt, mit zwei Spitzen *f* und *g* versehen ist, und durch einen Stift in der Kugel festgehalten wird. Auf *f* wird eine sehr dünne Glasröhre *H* gesteckt, die als Zeiger auf dem Gradbogen dient, an der Spitze *g* befestigt man einen mehrere Zoll langen Strohhalm, der eine Kugel *K* aus Meerschaum trägt. Diese Kugel liegt bei senkrechtem Stande des Strohhalmes in einem Ausschnitte des Buchsbaumstabes; der Gradbogen ist so gerichtet, dafs der Stift der Scheibe *e* durch den Mittelpunkt des Bogens geht. Das Doppelpendel hat an der unteren Hälfte ein kleines Uebergewicht, und bleibt daher in verticaler Lage, elektrisirt steigt es, und der Zeiger giebt den Winkel an, den das Pendel mit der Verticalen bildet.

Das Goldblattelektroskop. Die Strohhalmpendel in [53]
den Elektroskopen haben mancherlei Nachtheile. Sie sind hygroskopisch, ändern daher ihre Form leicht, und haften oft so stark an einander, dafs sie nur durch grofse Elektricitätsmengen getrennt werden. Die Aufhängung in Ringen erlaubt eine seitliche Ausweichung der Halme, und die Divergenz findet nicht immer, wie sie soll, in derselben Verticalebene statt. Alles dies fällt bei schmalen Streifen geschlagenen Blattgoldes fort, die zuerst von Bennet[2]) an die Stelle der Strohhalme gesetzt worden sind. Solche Streifen sind nur in Einer Richtung beweglich, sie sind unveränderlich und lassen sich von aufserordentlicher Empfindlichkeit darstellen. Es wäre den damit versehenen Elektroskopen, die unter dem Namen der Goldblatt- oder Bennet'schen Elektroskope bekannt sind, eben nur

[1]) Dessen Elektricitätslehre.* 1. 79.
[2]) *Philosophical transactions for* 1787.* *p.* 26.

Digitized by Google

[53] eine zu grofse Beweglichkeit vorzuwerfen, die eine vorsichtige Behandlung nothwendig macht, und die Anbringung einer gröfsern Elektricitätsmenge verbietet. Ich werde mehrere Formen des Instruments beschreiben, die je nach der Art des Versuches in Anwendung gebracht werden, von welchen sich die zunächst folgende durch Empfindlichkeit auszeichnet.

Eine Glasröhre von $1\frac{1}{2}$ Zoll Höhe 9 Linien Weite ist mit einem Ende an einen messingenen Ring gekittet, der mittels zweier Schrauben an einem schweren Holzfufs befestigt wird. (Fig. 16.) An dem andern Ende ist die Röhre innerlich mit einem elfenbeinernen Ringe versehen, in den eine abgerundete über die Röhre nicht vorspringende Kappe eingeschraubt wird. Durch die Mitte der Kappe geht, in einer mit Schellack bekleideten Glasröhre, der oben in eine Schraube auslaufende Zuleitungsdrath, der unten zwei, 1 Linie breite $\frac{1}{2}$ Zoll lange, Goldblättchen trägt. Den Flächen der Goldblätter gegenüber ist der Glascylinder innerlich mit Stanniolstreifen bekleidet, die mit dem messingenen Ringe der Fufsplatte in Verbindung stehen. Eine messingene Hülse, die durch einen Bajonnetschlufs auf dem Ringe befestigt wird, schützt bei dem Transporte das Instrument vor Beschädigung. Dies Elektroskop wird nach dem Verfertiger das Weis'sche Elektroskop genannt.

54 Das Kugelelektroskop. (Fig. 17.) Um den Hals eines 3 Zoll weiten Glasballons ist eine Messingfassung mit innerlichem Schraubenzuge gekittet; in diese Fassung wird eine dicke Messingscheibe mit zwischengelegter Lederscheibe luftdicht eingeschraubt. Die Scheibe hat ein Loch, das 3 Linien weit, den zwei Zoll langen, 1 Linie dicken Zuleitungsdrath durchläfst und aufserdem mit Schellack ausgefüllt ist. Hierzu umgiebt man den Drath an der geeigneten Stelle mit einer dicken Lage von Schellack, rollt diese auf Glas zu einem Cylinder aus und bringt den Drath mit der Schellackhülle in die heifse Messingplatte. In dem Ballon endigt der Drath mit einer Zuschärfung, an welcher die 1 Zoll langen Goldblättchen befestigt sind, die in keiner Lage die Glaswand berühren können. Den Flächen der Blätter gegenüber befinden sich an der Aufsenseite des Ballons Stanniolstreifen, welche die Messingfassung mit dem Fufse des Elektroskops verbin-

Digitized by Google

den. Der Ballon mufs innerlich sehr trocken sein und wird [54]
deshalb mäfsig erwärmt, ehe man die Messingplatte luftdicht aufschraubt. Ein sorgfältig verfertigtes Elektroskop dieser Art behält eine mäfsige Divergenz stundenlang, und es vergehen auch bei ungünstiger Witterung 6 bis 7 Stunden, ehe es unelektrisch geworden ist.

Bei den beschriebenen Elektroskopen wird keine genaue Bestimmung des Divergenzwinkels der Goldblättchen gefordert, und man bedient sich zur Schätzung desselben einer Scale, die an der Aufsenwand des Glasgefäfses angebracht ist. Ist eine solche Bestimmung zu einem besondern Zwecke wünschenswerth, so kann man das Instrument so einrichten, wie es Péclet gethan hat [1]). (Fig. 18.) Ein vierkantiger Glaskasten von $6\frac{1}{4}$ Zoll Seite, $7\frac{1}{2}$ Zoll Höhe ist auf ein gleichschenkliches mit Stellschrauben versehenes Messingdreieck gestellt, dessen Höhe $1\frac{1}{2}$ Fufs mifst. An dem einen Ende ist eine Messingplatte *J* mit feiner Oeffnung, an der andern eine eingetheilte Kreisscheibe *K*, an einem Stiele vertical verschiebbar, befestigt. Beide Stücke werden so gerichtet, dafs die Oeffnung, der Befestigungspunkt der Goldblättchen und der Mittelpunkt der Kreistheilung in einer geraden Linie liegen, und diese Linie senkrecht auf der Scheibe *K* steht. Indem man durch die Oeffnung auf die Theilung blickt, läfst sich der Winkel den die Goldblätter bilden, ziemlich genau bestimmen. Die Blätter sind bei Péclet's Instrumente an einem Zuleitungsdrathe befestigt, der durch eine doppelte Glasröhre möglichst gut isolirt wird.

August's Elektrometer [2]). Bei diesem wird die elek- 55
trische Abstofsung durch die Schwerkraft gemessen. In einem mit einer seitlichen Oeffnung *M* versehenen Glaskasten (Fig. 18a.) ist die vergoldete Hollundermarkkugel *G* an divergirenden Coconfäden *GF* und *GE* aufgehängt und ist, bei horizontalem Stande des Kastens, von der auf Schellack isolirten feststehenden Kugel *H* in eine vor dem Versuche bestimmte Entfernung gestellt. Hierzu ist der Fufs von *H* in einem Schlitze verschieb-

[1]) *Annales de Chimie.* 3 *Sér.* 2. 100.

[2]) Fischer's Lehrbuch d. mechan. Naturlehre. v. August. Berl. 1840. 2. 11.

Digitized by Google

[55] bar. Elektrisirt man nun die Kugel G, und bringt an H die zu messende (gleichartige) Elektricitätsmenge an, so wird G abgestofsen, und man mufs, um die frühere Entfernung von G und H wiederherzustellen, den Kasten gegen den Horizont neigen. Beträgt hiernach der Winkel, den die Richtung des elektroskopischen Pendels mit der Verticalen bildet, φ Grade, so ist die Schwere von G nach der auf die Richtung des Pendels geführten Normalen zerlegt, proportional mit $\sin.\varphi$ und diese Gröfse daher ein Maafs für die Abstofsung der auf den Kugeln G und H befindlichen Elektricitätsmengen. Zwei successiv an H angebrachte Elektricitätsmengen werden sich wie $\sin.\varphi$ zu $\sin.\varphi'$ verhalten, wenn φ und φ' die in beiden Fällen beobachteten Neigungswinkel des Pendels gegen die Verticale bedeuten. Wurde die Kugel G nicht vorläufig elektrisirt, sondern erhielt sie ihre Elektricität durch Berührung mit Kugel H, so ist das Verhältnifs der beiden Elektricitätsmengen $\sqrt{\sin.\varphi}$ zu $\sqrt{\sin.\varphi'}$.

Um den Winkel φ messen zu können, ist der Glaskasten um eine horizontale Axe drehbar, die genau normal gegen die Ebene gestellt ist, in welcher das elektroskopische Pendel schwingt; aufserdem ist an der Axe ein Zeigerpendel P befestigt und ein Gradbogen an dem Kasten angebracht. Der vom Zeiger abgeschnittene Winkel VP giebt die Neigung des Kastens gegen den Horizont und damit zugleich, wie die beigefügte Zeichnung lehrt, den Winkel φ an, den das elektroskopische Pendel mit der Verticallinie bildet.

56 Das schwimmende Elektroskop. Die elektrische Abstofsung ist bisher, durch Anwendung der elektroskopischen Pendel in den Elektroskopen, aufgewogen worden durch die Componente der Schwerkraft, welche auf der Richtung der abgelenkten Pendel normal steht. Man kann zu gleichem Zwecke die ganze Kraft der Schwere benutzen, indem man Elektroskope nach dem Prinzipe der gewöhnlichen Gewichtswage konstruirt. Von diesen häufig angegebenen Instrumenten verdient das folgende einer besonderen Erwähnung, das von le Roi und d'Arcy vorgeschlagen worden ist [1]). (Fig. 19.)

[1]) *Mémoires de l'Acad. de Paris* 1749. *p.* 63. *éd. in*-12°. *Amsterdam.*° 99.

Digitized by Google

In einem mit Wasser oder Oel gefüllten Glasgefäfse schwimmt [56] eine hohle Glaskugel mit einem etwa 1 Fufs langen Glasstiele, auf dem eine Messingscheibe von 14 Linien Durchmesser verschiebbar ist. Das Gewicht des schwimmenden Körpers ist, durch in die Kugel gegossenes Quecksilber, so abgeglichen, dafs die Kugel den Boden des Gefäfses beinah berührt, der Glasstiel geht mit kleinem Spielraum durch eine Oeffnung der Messingplatte, mit der das Gefäfs gedeckt ist, und wird durch kreuzweise ausgespannte Metalldräthe in der verticalen Stellung erhalten. Die kleine Messingscheibe wird zuerst auf dem Glasstiele so weit verschoben, dafs sie bei freier Stellung der Kugel die Deckplatte so eben berührt; theilt man der letztern Elektricität mit, so mufs die kleine Messingscheibe mit dem Stiele in die Höhe steigen, und zwar so lange, bis das Gewicht der Flüssigkeit, die von dem gehobenen Stücke des Stieles verdrängt worden war, der elektrischen Abstofsung beider Metallplatten das Gleichgewicht hält. Es läfst sich danach an dem Stiele des Instruments eine Eintheilung anbringen, welche die elektrische Abstofsung in Gewichtstheilen angiebt. Die Erfinder liefsen, um dem Instrumente nicht nahe zu kommen, den Schatten des Stieles auf einen mit einer Längentheilung versehenen durchsichtigen Schirm fallen. — Ein nach diesem Prinzipe construirtes Elektroskop ist sehr unempfindlich, da schon eine bedeutende Elektricitätsmenge dazu gehört, die Adhäsion der Flüssigkeit an dem Stiele und die Reibung des letztern gegen die Deckplatte zu überwinden. Auch wird die Angabe des Elektroskops dadurch ungenau, dafs die elektrisirten Scheiben auf den Stiel wirken und ihn seitlich verrücken. Diesen Mängeln kann abgeholfen und eine gröfsere Empfindlichkeit des Instruments gewonnen werden, durch eine sehr complicirte Einrichtung, die neuerdings von Snow Harris angegeben und benutzt worden ist [1]). Die Beschreibung des veränderten Instruments, das zur Messung von Elektricitätsmengen benutzt wurde, kann hier übergangen werden, da es keine Resultate geliefert hat, die nicht durch einfachere Instrumente genauer erhalten werden können.

[1]) *Philosophical transactions f.* 1834.*

Digitized by Google

57 Peltier's Elektroskop. Wendet man bei den Elektroskopen horizontale Pendel statt der verticalen an, so mufs man an die Stelle der Schwere eine andere Kraft setzen, die elektrische Abstofsung aufzuwägen, wenn man constante Divergenzen erhalten will. Ein solcher Fall ist bei dem Diagometer (§. 31.) bereits vorgekommen, und es wurde da die Directionskraft einer Magnetnadel benutzt, der elektrischen Abstofsung das Gleichgewicht zu halten. (Dies Prinzip zur Messung kleiner Kräfte ist zuerst von Michell [1]) vorgeschlagen worden). Peltier [2]) hat dieselbe Einrichtung zu einem eigenen Elektroskope benutzt. (Fig. 20.) Eine am Rande in Graden getheilte Holzscheibe von 7 Zoll 5 Linien Durchmesser ist auf einer gleichfalls eingetheilten Scheibe von gröfserem Durchmesser um einen Zapfen concentrisch beweglich. Durch den Rand der kleinen Scheibe geht der gebogene, 3 Linien dicke, Kupferstab *CD*, durch Schellack vom Holze isolirt, hindurch, erhebt sich 2 Linien über die Scheibe und endigt in ihrem Mittelpunkte mit einer nach oben gekehrten etwas vertieften Stahlplatte. Am vorderen Ende trägt dieser Stab eine Metallkugel und dient als Zuleiter des Elektroskops. Die Nadel *ABOE* ist aus sehr dünnem Kupferdrathe so gebogen, dafs ihr flach gewölbter Theil den Zuleitungsdrath berühren kann. Gegen die Mitte ist die Nadel stark gewölbt und daselbst mit einer Spitze versehen, mittels der sie, durch eine Schellackkugel äquilibrirt, auf die Stahlplatte des Zuleiters freischwebend aufgestellt wird. Winkelrecht gegen die Spitze ist ein dünner Eisendrath *AO* befestigt, dem man einen geringen Grad von Magnetismus gegeben hat. Die Holzscheibe trägt einen Glascylinder, dessen obere Glasdecke mit einer Eintheilung versehen ist, die dazu dient, bei dem Ablesen des Standes der Nadel auf der unteren Eintheilung die Parallaxe zu vermeiden.

Die Empfindlichkeit des Elektroskops hängt von der Schwäche der angewandten Magnetnadel und von der Leichtigkeit der vollständigen elektroskopischen Nadel ab; an einem

[1]) Priestley Gesch. d. Optik.* Leipzig 1775. 282.
[2]) *Annales de Chimie t.* 62.* (1836.)

Digitized by Google

sehr empfindlichen Exemplare wog die letztere, mit Inbegriff des [57]
Gegengewichts, 0,44 Gramm. Bei dem Gebrauche richtet man das Instrument so, dafs der Zuleiter *FC* im magnetischen Meridiane steht und daher die vom Magnete geführte Kupfernadel den Zuleiter berührt. Theilt man der Kugel *D* Elektricität mit, so wird die Nadel abgestofsen und kommt bei einer bestimmten Elongation zur Ruhe. Dieser Winkel, und daher die Empfindlichkeit des Instruments, wird vergröfsert, wenn man der Nadel von der äufseren Seite einen nicht isolirten, durch den Hebel *L* beweglichen, Kupferstab nähert, der an dem Zapfen *K* befestigt ist, um den sich die obere Holzscheibe dreht. Peltier bemerkte, dafs wenn die Magnetnadel, wie es zur Empfindlichkeit des Instruments nöthig ist, sehr schwach magnetisirt worden, keine constanten Divergenzen über 50° hervorgebracht werden konnten. In diesem Falle wurde das Instrument auf seiner Unterlage so gedreht, dafs der Zuleiter *D* sich von der Nadel entfernte, und diese daher dem Meridiane näher rückte, wonach auch gröfsere Divergenzen der Nadel beobachtet werden konnten. Die Verrückung des Instruments wurde durch den Zeiger *S* auf der unteren Theilung markirt, und konnte leicht aufgehoben werden.

Dies Elektroskop kann so empfindlich gemacht werden, 58
dafs es dem feinsten Goldblattelektroskope nicht nachsteht; giebt man die Empfindlichkeit auf, so kann es als Elektrometer zur Messung gröfserer Elektricitätsmengen gebraucht werden. Für diesen Zweck läfst man den Hebel *KL* und den daran befestigten Metallarm fort, und ersetzt die Eisennadel *AO* durch eine gehärtete Magnetnadel von bedeutender Richtkraft. Nachdem der Arm *CD* genau in den magnetischen Meridian gestellt worden ist, bringt man die beiden Elektricitätsmengen, die man mit einander zu vergleichen wünscht, successiv an den Knopf *D* des Zuleiters, und sucht in beiden Versuchen dieselbe Abstofsung α der Nadel hervorzubringen. Hierzu mufs das Instrument auf seinem Fufsbrette um einen gewissen Winkel gedreht werden, der positiv zu bezeichnen ist, wenn die Drehung gegen die abgestofsene Nadel hin, negativ, wenn sie in entgegengesetzter Richtung geschieht. Es seien diese Winkel bei 2 Versuchen $+\beta$ und $-\beta'$. In jeder Lage ist die Richt-

Digitized by Google

[58] kraft einer Magnetnadel dem Sinus ihres Ablenkungswinkels proportional, hier also werden die magnetischen Kräfte, welche der elektrischen Abstofsung das Gleichgewicht halten, durch $\sin.(\alpha+\beta)$ und $\sin.(\alpha-\beta')$ gemessen. Das Verhältnifs der angewandten Elektricitätsmengen ergiebt sich hiernach, wie später gelehrt wird, $\sqrt{\frac{\sin.(\alpha+\beta)}{\sin.(\alpha-\beta')}}$. Die Messung bleibt daher auf Elektricitätsmengen eingeschränkt, für welche $\alpha+\beta$ weniger als 90° beträgt.

59 Oersted's Elektroskop [1]). Dies Instrument ist nach demselben Principe, wie das vorhergehende, construirt. In den Holzdeckel eines Glascylinders (Fig. 21.) von 2 Zoll 9 Linien Höhe und 2 Zoll Weite ist eine Messingröhre isolirt eingelassen, die sich in zwei bogenförmigen Dräthen endigt (*cc*). Eine dünne Messingnadel *aa*, 14 Linien lang, ist mit einem Bügel *bb* aus schwach magnetisirtem Eisendrathe versehen und an einem einfachen Coconfaden aufgehängt. Wird die Drathgabel *cc* in den magnetischen Meridian gerichtet, so liegt die Nadel an ihr an; elektrisirt man die Messingröhre und damit zugleich die Nadel, so wird letztere bis zu einer bestimmten Elongation abgestofsen. Zur Messung dieser Elongation ist ein Ständer, der ein Mikroskop mit einem in seinem Bildpunkte ausgespannten Faden trägt, mit dem Arme *ih* um einen im Centrum des Instruments befindlichen Zapfen drehbar, wobei der Zeiger *l* auf einer Theilung die Drehung angiebt. Um sehr schwache Elektricitätsmengen zu erkennen, theilt man der Röhre vorläufig Elektricität mit, und schliefst aus der Bewegung der bereits abgestofsenen Nadel auf Art und Stärke der geprüften Elektricitätsmenge.

[1]) Poggendorff Annalen d. Phys.* 53. 612.

Digitized by Google

Erster Abschnitt.

Wirkungen elektrisirter Körper während ihrer Isolation.

Digitized by Google

Digitized by Google

Erstes Kapitel.

Die elektrische Torsionswage.

Beschreibung der Wage.

Um die Wirkungen elektrisirter Leiter genau zu bestimmen, 60
und auf die sie erzeugenden Elektricitätsmengen zurückzuführen, bedient man sich eines von Coulomb erfundenen Instruments, der Torsionswage, mit dem wir uns genau bekannt zu machen haben. Es wird an dem Instrumente direct die Wirkung zweier elektrisirter Kugeln auf einander gemessen, welche durch die Drehung eines Metalldrathes aufgewogen wird. Die einfachste Form des Instruments ist folgende: [1])

Auf einem unten geschlossenen hohlen Glascylinder *ABCD* (Fig. 22.) von 1 Fuſs Durchmesser und Höhe, ist eine Spiegelscheibe von 13 Zoll Durchmesser gelegt, die ihn vollkommen abschlieſst, und an zwei Stellen mit runden, ungefähr 13 Linien weiten Oeffnungen versehen ist. In der einen Oeffnung *f* in der Mitte der Scheibe ist eine Glasröhre von 2 Fuſs Höhe eingekittet, an deren oberem Ende sich ein Aufsatz mit dem Torsionskreise *op* befindet, der in Fig. 23 mit seinen einzelnen Bestandtheilen gezeichnet ist. Der obere Theil besteht aus dem Knopfe *b*, dem Index *io*, der Klemme *q*; er ist in die Oeffnung des Torsionskreises eingeschliffen und in dieser möglichst leicht drehbar; der Kreis ist auf der hohen Kante

[1]) *Mémoires de l'Acad. d. Scienc. Paris. année* 1785.* *p.* 570.

Digitized by Google

[60] in Grade getheilt. Von dem Kreise geht eine kurze Messingröhre *n* aus, die in die, auf dem oberen Ende der Glasröhre festgekitteten Hülse *H* paſst. Der in der Klemme *q* befestigte Drath kann daher auf zweifache Weise eine Torsion erhalten; einmal durch Bewegung des Knopfes *b*, wobei der Index den Torsionswinkel angiebt, dann durch Drehung des ganzen Kreises in der Hülse *H*, die deshalb nicht zu leicht von statten gehen darf, wobei der Index auf der Theilung unverrückt bleibt. Die Klemme *q*, welche das obere Ende eines feinen Drathes festhält, besteht aus einem, durch einen Ring gepreſsten, aufgeschnittenen Kegel; das untere Ende des Drathes ist in eine ähnliche Klemme *P* gesteckt, die durch ihr Gewicht den Drath spannt, und in der Mitte ausgeschweift ist, um den Wagebalken *a g* durchzulassen. Dieser Balken schwebt horizontal in der Mitte des Glascylinders, ist höchstens 8 Zoll lang, und besteht aus einem mit Siegellack überzogenen Seidenfaden oder Strohhalme, der durch einen an die Seite *a* angesetzten kurzen Schellackfaden verlängert ist, oder ist auch ganz aus Schellack geformt. An das eine Ende des Balkens ist eine 2 bis 3 Linien dicke Kugel aus Hollundermark, an das andere eine verticale Scheibe aus Oelpapier angesetzt, die der Kugel als Gegengewicht dient, die Oscillationen des Balkens verlangsamt, und bei Ablesung seiner Elongation nützlich ist. Rund um den Glascylinder ist ein in Grade getheilter Papierstreifen in der Höhe des Wagebalkens geklebt, der die Elongation des letztern bestimmen läſst. Die Glasscheibe auf dem Cylinder hat gegen den Rand zu eine Oeffnung *m*, durch welche eine Hollundermarkkugel *t* (der am Wagebalken gleich) in den inneren Raum an einem Stiele geführt wird, der an seinem unteren Theile aus Schellack besteht. Dieser Stiel ist an einer Holzklammer so befestigt, daſs die Kugeln *a* und *t* in einer Horizontalebene zu liegen kommen, muſs leicht aus der Wage entfernt, und schnell und sicher in seine frühere Lage zurückgebracht werden können. Hierzu hat man die Lage der Klammer auf der Glasscheibe scharf zu bezeichnen, oder bequemer den Rand der Oeffnung *m* an einer Stelle so einzufeilen, daſs der Stiel genau in den Einschnitt paſst. Der Stiel muſs an der Klammer unverrückbar befestigt sein.

Digitized by Google

Coulomb hat zu bestimmten Zwecken Wagen von grö- 61
ſseren Dimensionen und folgender Einrichtung angewendet [1]). Der Kasten der Wage (Fig. 24.) ist aus vier Glasscheiben zusammengesetzt (jede 2 Fuſs lang, 16 Zoll hoch), die auf einem quadratischen Fuſsbrette aus gedörrtem mit Firniſs überzogenem Holze stehen. Er wird mit Glasscheiben dergestalt bedeckt, daſs eine breite Spalte *C* offen bleibt, durch welche die feste Kugel in den innern Raum eingeführt wird. Diese Kugel ist an einem Stiele aus Schellack befestigt, der durch eine kleine Holzplatte *d* geht, und darin durch eine Schraube festgestellt ist. Um den Kasten ist das Gestell 2135 gelegt, dessen Querbalken die Glasröhre 6 trägt; die Röhre ist 12 bis 15 Zoll hoch, und mit einem Aufsatze und Torsionskreise versehen, der in Fig. 25 abgebildet ist. Die auf die Glasröhre gekittete Fassung hat einen abgedrehten Hals, auf den der Ring *cd* und dann der Torsionskreis *ab* so aufgesetzt wird, daſs Ring und Kreis unabhängig von einander gedreht werden können. Der Torsionskreis ist auf der Kante in Grade getheilt, durch seine Mitte geht der Metallstift 7 hindurch, der am unteren Ende zur Befestigung des Drathes mit einer Klemme versehen ist. Der Ring *cd* ist nur in einer Ausdehnung von fünf Graden getheilt, er dient zum Index für den Torsionskreis, und kann bei jeder Stellung des Wagebalkens auf den Nullpunkt gestellt werden. Gesetzt, man wolle den Wagebalken auf den Nullpunkt seiner Theilung bringen, so dreht man den Torsionskreis, bis diese Lage ungefähr hergestellt ist, und liest die Elongation des Balkens ab. Beträgt dieselbe z. B. 3 Grade, so dreht man den Torsionskreis in passender Richtung um 3 Grad fort, und stellt zugleich den Index auf den Nullpunkt des Kreises. Bei der früher beschriebenen Einrichtung des Aufsatzes der Glasröhre ist diese Operation zeitraubender, wenn man nicht auf den, übrigens nicht sehr erheblichen, Vortheil verzichten will, daſs der Index des Torsionskreises zu Anfange eines jeden Versuches auf Null steht. Um bei der Wage Fig. 24 die Elongation des Balkens ablesen zu können, ist um den Kasten, in der Höhe des Balkens, ein

[1]) *Mémoires de l'Acad. Paris* 1787.* *p.* 422.

Digitized by Google

[61] eingetheilter Halbkreis von beinahe 4 Fuſs Durchmesser befestigt, dessen Mittelpunkt in den von der Klemme 7 herabhängenden Drath zu liegen kommt. Der Wagebalken ist wie bei der ersten Wage eingerichtet, die Ablesung der Elongation geschieht, wie dort, indem man den Drath die Mitte der schwebenden Kugel decken läſst, und nach der Theilung sieht.

62 Die Wage, deren ich mich zu elektrischen Messungen häufig bedient habe, ist in Fig. 26 abgebildet; sie ist sehr bequem zu handhaben, und gewährt auch bei kleinen Torsionen Genauigkeit. Der Glascylinder hat 1 Fuſs Höhe und Breite und ist mit einer Spiegelglasplatte gedeckt, die durch drei daran festgekittete Pflöcke vor seitlicher Verschiebung geschützt ist. In der Glasplatte ist in der Mitte und am Rande eine 17 Linien weite Oeffnung ausgeschliffen. Die Randöffnung *a*, mit einem Ausschnitte versehen, der $1\frac{1}{3}$ Zoll von der Wand des Cylinders entfernt ist, dient zum Einbringen der festen Kugel und ist mit Papier umkleidet, auf dem die Stellung des Stieles der Kugel bezeichnet wird. In der Mittelöffnung ist durch eine unten vorgeschraubte Mutter eine Messinghülse befestigt, in der sich die konische Fassung der Aufsatzröhre mit harter Reibung dreht. Die Stellung dieser Fassung giebt der Zeiger *b* an, gegen dessen Spitze ein feiner Drath auf die Glasscheibe geklebt wird, damit eine Verschiebung der Fassung sogleich bemerkt werde. Aufserdem trägt die Fassung den dicken, aufwärts gehenden $9\frac{1}{2}$ Zoll langen, Drath *c*, der in einer Gabel endigt. Um das obere Ende der 15 Zoll langen gläsernen Aufsatzröhre ist eine dicke Metallfassung gelegt, an der ein Tisch für die später anzugebende Drehvorrichtung befestigt ist, und die sich oben zu einem vorspringenden Kragen erweitert. Auf diesem liegt ein Metallring mit aufwärts zeigendem Index *d*, der um die Fassung gedreht und an eine beliebige Stelle gebracht werden kann. Der drehbare Ring wird durch einen aufliegenden festgeschraubten Ring in seiner Lage erhalten. Im Innern ist die Metallfassung sehr sorgsam ausgedreht zur Aufnahme eines breiten Metallkegels, auf dessen Basis der auf der hohen Kante getheilte Torsionskreis (Durchmesser 31 Linien) festgeschraubt ist. Dicht unter dem Torsionskreise liegt eine zweite Metallscheibe von $29\frac{1}{2}$ Linien Durchmesser, die an

Digitized by Google

der Stirn ausgehöhlt und mit einem Schraubenzuge versehen [62]
ist. Wird der Kegel in die Hülse eingesetzt, so geht diese Scheibe frei hinter dem Index *d* durch, dessen obere Kante von der Kante des Torsionskreises durch einen kleinen Zwischenraum getrennt ist. Der Torsionskreis wird durch das Kreuz *f*, dessen Arme $3\frac{1}{4}$ Zoll lang sind, bewegt; in der Axe ist der Kreis, wie der darunter liegende Kegel, durchbohrt, und läfst den Stift *g* durch sich hindurch, der mit leichter Reibung auf- und abbewegt und durch eine Klemmschraube festgestellt werden kann. Dieser Stift ist an seinem unteren abgerundeten Ende aufgeschnitten, und klemmt bei Aufschiebung eines Ringes das obere Ende des Torsionsdrathes. Das untere Ende des Drathes ist in derselben Weise an der Hülse des Wagebalkens festgeklemmt. Zur feinen Bewegung des Torsionskreises dient die horizontal liegende Schraubenspindel *h*, die sich an ihrem bezeichneten Ende in einem festen Lager um eine Nufs dreht, an dem andern cylindrischen Ende aber in einem, in einer Kulisse verschiebbaren, Lager ruht. Dies Lager, und damit die ganze Schraubenspindel, wird durch die Messingfeder *i* gegen den Schraubenkreis gedrückt, und kann von diesem abgerückt werden, indem das excentrisch drehbare Metallstück *n* gegen eine vorspringende Kante geschoben wird. Hierzu dient der Winkelhebel *m*, der in der gezeichneten Lage die grobe Bewegung des Torsionskreises erlaubt, in der punktirten die Schraube wirken läfst. Das Auslösen und Einfallen der Schraube geschieht äufserst sanft, ohne Stofs, der an dem empfindlichen Wagebalken merkbar würde. Die Schraubenspindel wird mit Hülfe eines Hooke'schen Schlüssels umgedreht, dessen 17 Zoll langer Stiel in der Gabel des Drathes *c* ruht. Der Gang der Schraube ist so gewählt, dafs eine ganze Umdrehung derselben eine Verrückung des Torsionskreises um mehr als einen Grad (nahe $1^{\circ},14$) bewirkt.

Die Elongationen des Wagebalkens hat man nur in seltenen Fällen zu messen, in welchen ein, um den Glascylinder in der Höhe des Balkens gelegter, Papierstreifen benutzt wird, dessen willkürliche Theilung auf den Winkelwerth durch vorläufige Versuche zu bringen ist, indem man den Balken durch Drehung des Torsionskreises successiv auf naheliegende Striche

Digitized by Google

[62] der Papiertheilung führt. Die Eine, bei der gewöhnlichen Messung stets wiederherzustellende, Elongation des Balkens wird durch das, in der Figur sichtliche, zusammengesetzte Mikroskop gefunden, das auf einem eigenen, unverrückbar befestigten Stative horizontal gestellt ist. Die Einsicht in das Mikroskop geschieht von oben in ein vor das Ocular gelegtes Prisma; in der Bildfläche des Mikroskops ist ein in 50 Theile getheiltes Glas angebracht, durch welches die Weite von Oscillationen des Balkens um die Normallinie genau gemessen werden kann.

Die Anfertigung und Aufhängung des Wagebalkens mufs der Beobachter selbst übernehmen. Ich nahm zwei Glasfäden von 3 Zoll Länge, gerade so dünn, dafs sie sich nicht unter dem eigenen Gewichte bogen, und bekleidete sie mit Schellack, indem ich an dem Ende jedes Fadens ein Stück Lack befestigte, und durch vorsichtige Erhitzung langsam bis zu dem anderen Ende herunterfliefsen liefs. Die beiden, möglichst gleichförmig überzogenen, Glasfäden verband ich in gerader Linie durch einen zolllangen Schellackcylinder, und befestigte an dem einen Ende eine $4\frac{1}{2}$ Linien dicke vergoldete Kugel aus Hollundermark, an dem anderen eine Glimmerscheibe von 1 Zoll Durchmesser, deren äufsere Kante geschwärzt war. Der so zusammengesetzte Balken wog 1,45 Gramm, und wurde mittels eines Messingbügels an einem Silberdrathe in der Mitte der Wage horizontal aufgehängt, so dafs die Ebene der Glimmerscheibe durch den Drath ging. Nachdem der Drath durch drei unter den Glascylinder gelegte Holzkeile in die Mitte des Cylinders gebracht war, wurde das Mikroskop so gerichtet, dafs die geschwärzte Kante der Glimmerscheibe in der Mitte des Feldes deutlich gesehen wurde. Der Silberdrath (0,027 par. Linie dick) war sorgfältig ausgesucht, ohne Kniffe, und wurde durch ein angehängtes 10 Grammengewicht mehrere Stunden lang straff gespannt. Ich befestigte davon eine Länge von 22 Zoll auf dem Tische, zog den Stift g aus dem Torsionskreise, und befestigte in der Axe des Stiftes das eine Ende des Drathes, das andere Ende an der kleinen Messinghülse, die den Wagebalken trägt. Der Deckel der Wage wurde frei aufgestellt, der Drath mit der daran schwebenden Hülse durch den Torsionskreis und die Glasröhre hinabgelassen, und darauf der

Digitized by Google

Wagebalken durch die Hülse geschoben. Nachdem der Deckel [62]
wieder auf den Glascylinder gesetzt war, wurde die Güte der Isolirung des Wagebalkens geprüft. Ich zog aus gutem Schellack einen 6 Zoll langen Faden, befestigte daran eine Hollundermarkkugel, und brachte diese durch die Oeffnung *a* in die Wage, so dafs sie von der Kugel des Balkens berührt werden konnte. Durch Torsion des Drathes wurden beide Kugeln in leichter Berührung erhalten, und alsdann zusammen elektrisirt. Der Balken wurde abgestofsen, und blieb, als er nach mehreren Stunden die feststehende Kugel wieder berührt hatte, an ihr haften. Dies ist ein Zeichen der Tauglichkeit des Balkens, denn wäre er nach der Berührung mit der festen Kugel wieder abgestofsen worden, so wäre damit angezeigt worden, dafs die Kugel des Wagebalkens nicht gehörig isolirt war, und die Schellacktheile des Balkens zu verwerfen seien. — Der anfängliche Elongationswinkel des Balkens mufs, wo die Stellung des Mikroskops durch die Localität bestimmt ist, durch Drehung des Deckels der Wage, oder der ganzen Wage erreicht werden. Nachdem dies geschehen, giebt man der Gabel *c* durch Drehung der Hülse *b* eine passende Lage (am bequemsten so, dafs der Stiel des Hooke'schen Schlüssels dem Beobachter zur Linken liegt), und bringt die Glimmerscheibe des Wagebalkens durch Drehung des Torsionskreises in die Mitte des Mikroskops. Hiernach rückt man den Index *d* auf den Nullpunkt; sollte diese Stellung der Ablesung nicht günstig sein, so ändert man jene dadurch, dafs man den Stift *g*, nach Lüftung seiner Klemmschraube, in der Hülse dreht, und den Wagebalken aufs Neue durch den Torsionskreis in das Feld des Mikroskops bringt.

Um die Wage ungefährdet von einer Stelle zu einer andern tragen zu können, mufs man das in der Figur gezeichnete Stück *p* anwenden. Es besteht aus einem Korkpfropfen, in welchem in geeigneter schräger Lage eine Messinghülse mit Ring und Klemmschraube festgekittet ist. Durch die Hülse geht ein 10 Zoll langer Drath mit löffelförmigem Ende. Nachdem der Kork in die Oeffnung *a* der Wage fest eingesetzt ist, wird der Löffel mit nach Aufsen gerichtetem Rande, durch Verschiebung des Drathes in der Hülse, unter die Mitte des Wa-

Digitized by Google

[62] gebalkens gebracht, umgedreht und in die Höhe gezogen, wobei der Löffel den Balken aufnimmt, und in seiner Höhlung ruhen läfst.

Empfindlichkeit der Torsionswage.

63 Die Empfindlichkeit der Torsionswage hängt von der Länge des Wagebalkens ab und von der Kraft, mit welcher der Drath, an dem der Balken aufgehängt ist, der Drehung widersteht. Ueber die Bestimmung dieser Kraft und ihre Abhängigkeit von der Beschaffenheit und den Dimensionen des Drathes ist Folgendes zu merken.

Bestimmung des Torsionscoefficienten. Hängt man einen Körper an einem Metalldrathe auf, und bringt ihn durch Torsion des Drathes zu Schwingungen um seine durch den Drath gegebene verticale Axe, so findet man die Dauer einer Schwingung genau dieselbe, wie grofs auch die Weite der Schwingung sein mag. Hieraus folgt nach mechanischen Gesetzen, dafs die Kraft, die der Drath nach der Torsion auf den Balken ausübt, genau dem Torsionswinkel proportional ist. Kennt man daher diese Kraft bei Einem Torsionswinkel, so ist sie für jeden andern bekannt. Man nennt die Gröfse dieser Kraft bei der zur Einheit angenommenen Torsion den *Torsionscoefficienten*, und bestimmt diesen nach Coulomb auf folgende Weise [1]). Der Drath wird mit einem Ende vertical an einem Ständer befestigt, und an dem andern Ende mit einem Metallcylinder von bestimmten Dimensionen und Gewichte beschwert, der an einem Punkte einen leichten Zeiger trägt. Hat der Cylinder eine grofse Basis und geringe Höhe, ist er also scheibenförmig, so hängt man ihn in seiner Axe auf, ist er hingegen nadelförmig, in der Mitte seiner Länge, so dafs seine Axe im ersten Falle vertical, im letzten horizontal liegt. Nachdem der Cylinder, der so schwer sein mufs, dafs er den Drath vollkommen gerade spannt, ohne ihn gewaltsam zu verlängern, zur Ruhe gekommen ist, und man den Stand des an ihm befestigten Zeigers bemerkt hat, bringt man ihn

[1]) *Mémoires de l'Acad. des Sciences. Paris* 1784.* 231.

Digitized by Google

durch Drehung des Drathes in Schwingungen, deren Dauer [63]
man an einer Sekundenuhr mifst. Zur genauen Messung ist es nöthig, den Anfangspunkt der Beobachtung nahe in die Mitte einer Schwingung zu legen, wo der Zeiger die schnellste Bewegung hat, und eine gerade Anzahl von Schwingungen zu beobachten. Der Werth des Torsionscoefficienten läfst sich hiernach durch Rechnung finden, wozu aber die Bedeutung dieses Werthes schärfer aufzufassen ist.

Man denke sich an dem unteren Ende des vertical ge- 64
spannten Drathes einen starren horizontalen Arm befestigt, der die bei den Abmessungen gewählte Einheit, z. B. eine pariser Linie, zur Länge hat. Bei einer Drehung des Drathes um seine Axe wird das Ende dieses Armes einen Bogen beschreiben, der die Drehung mifst, und dessen Länge in Theilen des Armes angegeben wird. Es sei der Drath um $57\frac{1}{3}$ Grade gedreht, so dafs der starre Arm den Bogen 1 beschrieben hat, und n bezeichne das Gewicht, das, normal gegen den Arm wirkend, die Kraft aufwiegt, mit welcher der Drath in seine Ruhelage zurückstrebt, so wird n der Torsionscoefficient des Drathes genannt. Man hat sich diesen also als Gewicht zu denken, das, normal an einem horizontalen 1 Linie langen Arme wirkend, der von dem Ende eines senkrecht gespannten Drathes ausgeht, diesen Drath in der Torsion von $57\frac{1}{3}$ Grad erhält. Hat man den Drath um den Bogen A aus seiner Gleichgewichtslage gedreht, und läfst ihn frei, so strebt der Drath mit einer Kraft in jene Lage zurück, die im ersten Augenblicke $= nA$ ist und in jedem folgenden Augenblicke durch eine neue Kraft vermehrt wird, die durch das Produkt von n in den Bogen der noch vorhandenen Torsion ausgedrückt ist. Die Summe dieser Kräfte wird daher am gröfsten sein, wenn der Drath in der Gleichgewichtslage angekommen ist; sie wird ihn darüber hinaus nach der andern Seite treiben, und ihn aufs Neue in Drehung um seine Axe versetzen, die aber, nach der der frühern entgegengesetzten Richtung erfolgend, die vorhandene Kraft fortwährend verringert, bis sie wieder den anfänglichen Werth nA erreicht hat. In dieser Weise beschreibt das Ende des Drathes, wie auch der Werth von A sein mag, isochrone Schwingungen um seine Gleichgewichts-

Digitized by Google

[64] lage, und theilt diese dem an ihm hängenden Cylinder mit. Die Mechanik giebt für die Dauer einer solchen Schwinguug den Ausdruck

$$T=\pi\sqrt{\frac{\int e^2\,dm}{n}}$$

wo π das Verhältnifs des Durchmessers zur Kreisperipherie und $\int e^2\,dm$ das Trägheitsmoment des schwingenden Cylinders bedeutet. Für den vertical hangenden Cylinder ist dies Trägheitsmoment $\frac{Pr^2}{2g}$, wo P das Gewicht des Cylinders, r den Halbmesser seiner Basis, g die Beschleunigung der Schwere bedeutet. Für den horizontalen Cylinder ist das Trägheitsmoment $\frac{Pl^2}{12g}$, wo l die Höhe (Länge) des Cylinders bezeichnet.

65 Um aus den §. 63 beschriebenen Schwingungsversuchen den Torsionscoefficienten zu berechnen, hat man die Ausdrücke:

bei Anwendung des verticalen Cylinders $T=\pi\sqrt{\frac{Pr^2}{2gn}}$

- - - horizontalen - $T=\pi\sqrt{\frac{Pl^2}{12gn}}$

Die Berechnung wird einfacher, wenn man, statt der Beschleunigung der Schwere, die Länge des einfachen Sekundenpendels einführt. Wird diese Länge mit λ bezeichnet, so hat man $g=\pi^2\lambda$ und daher für n die Ausdrücke:

für den verticalen Cylinder $n=\frac{Pr^2}{2\lambda T^2}$ . . . . I.

- - horizontalen - $n=\frac{Pl^2}{12\lambda T^2}$ . . . II.

Hierbei bezeichnet: P Gewicht, l Höhe, r Halbmesser des schwingenden Cylinders, T Zeit einer Schwingung, λ Länge des einfachen Sekundenpendels am Orte der Beobachtung. Der Torsionscoefficient n giebt die Kraft der Torsion für den Bogen 1 und den Hebelarm 1 an. Will man diese Kraft für den Bogen a, und für den Hebelarm von b Linien Länge, so hat man n mit a zu multipliciren und durch b zu dividiren. Mifst der Bogen f Grade, so hat man $a=f\frac{\pi}{180}$. Beispiele dieser Berechnung kommen unten vor.

Der Torsionscoefficient eines Drathes hängt von der Materie und von den Dimensionen des Drathes ab, welche letztere

Digitized by Google

Abhängigkeit bei dem Gebrauche der Torsionswage gekannt [65]
sein muſs.

Aenderung des Torsionscoefficienten eines 66
Drathes. Der Torsionscoefficient ist unabhängig von dem den Drath spannenden Gewichte. Coulomb spannte einen und denselben Drath successiv durch senkrechte Cylinder von gleicher Basis und verschiedenem Gewichte (der eine Cylinder wog $\frac{1}{2}$ livre, der andere 2 livres), und beobachtete die Zeit von 20 Oscillationen. Da in der hier anzuwendenden Formel

$$n = \frac{Pr^2}{2\lambda T^2}$$

das Gewicht des Cylinders im Zähler, das Quadrat der Schwingungszeit im Nenner steht, so wird, wenn der Ausdruck ungeändert bleiben soll, bei Vervierfachung des Gewichtes die Schwingungszeit auf das Doppelte steigen müssen. Dies fand in den folgenden Versuchen Coulomb's so genau, wie zu erwarten ist, statt.

	Spannung.	Zeit von 20 *Oscill.*
Eisendrath	$\frac{1}{2}$ livre.	120 Sekunden.
	2 -	242 -
Eisendrath	$\frac{1}{2}$ -	43 -
	2 -	85 -
Messingdrath	$\frac{1}{2}$ -	220 -
	2 -	442 -
Messingdrath	$\frac{1}{2}$ -	57 -
	2 -	110 -

Das Gewicht also, welches den Drath spannt, äuſsert keinen Einfluſs auf seine Torsionskraft, vorausgesetzt daſs es nicht zu klein sei, weil in diesem Falle der Drath nicht gespannt würde, und nicht so groſs, daſs es ihn gewaltsam verlängere. Dies gilt indeſs nur für Metalldräthe und für Glas- und einfache Coconfäden. Bei dem aus Coconfäden zusammengesetzten Seidenfaden findet jene Unabhängigkeit nicht statt, und der Torsionscoefficient nimmt nach Gauſs Versuchen[1]) mit dem den Faden spannenden Gewichte zu.

Die Torsionscoefficienten zweier gleich dicken Dräthe der- 67
selben Art stehen im umgekehrten Verhältnisse ihrer Längen. —

[1]) *Intensitas vis magneticae terrestris.* *Gotting.* 1833. *p.* 19.

Digitized by Google

[67] An einen 9 Zoll langen Messingdrath wurde ein Cylinder aus Blei senkrecht gehängt, der 2 livres wog, und dessen Basis einen Radius von $9\frac{1}{2}$ Linien hatte. Durch Torsion des Drathes in isochrone Schwingungen versetzt, machte der Cylinder 20 Oscillationen in 110 Sekunden. Hiernach ist die Zeit 1 Oscill. = 5,5 Sek. Das einfache Sekundenpendel hat in Paris eine Länge von nahe $440\frac{1}{2}$ Linien. Um den Torsionscoefficienten in grains zu erhalten (1 grain = 0,8722 preufsische Gran) ist das Gewicht des Cylinders mit 9216 zu multipliciren. Setzt man diese Zahlenwerthe in die hier anwendbare Formel I. (§. 65.), so kommt

$$n = \frac{2.9216(9{,}5)^2}{2.440{,}5(5{,}5)^2} = 62{,}42 \text{ grains.}$$

Das heifst, ein Gewicht von 62,42 grains, an einem Arme von einer Linie Länge, und normal gegen denselben auf das freie Ende des Drathes wirkend, würde den Drath 57° 18′ um seine Axe drehen.

Der beschriebene Versuch wurde mit einem ähnlichen Messingdrathe, der aber 36 Zoll lang war, wiederholt, und die Zeit einer Oscillation des Cylinders 11,1 Sekunden gefunden. Hieraus ergiebt sich der Torsionscoefficient

$$n_1 = 15{,}32 \text{ grains.}$$

Nach dem oben ausgesprochenen Gesetze würde dieser Coefficient $\frac{62{,}42}{4} = 15{,}6$ sein.

68 Die Torsionscoefficienten zweier gleich langen Dräthe derselben Art sind den Biquadraten ihrer Dicken proportional. Coulomb bestimmte die Torsionscoefficienten zweier Messingdräthe, die 9 Zoll lang, aber verschieden dick waren. Die Dicke der Dräthe wurde durch ihr Gewicht bei einer Länge von 6 Fufs bestimmt. Eine solche Länge wog bei dem einen Drathe 5, bei dem andern 66 grains. Da die Massen zweier gleich hohen Cylinder sich verhalten, wie die Quadrate ihrer Durchmesser, so erhellt, dafs wenn der Durchmesser des ersten Drathes 1 gesetzt wird, der des zweiten $\sqrt{\frac{66}{5}}$ sein mufs. Als jeder Drath, durch einen Cylinder von 2 livres Gewicht und

Digitized by Google

9,5 Linien Radius gespannt, in Drehung versetzt wurde, ergab [68]
sich die Zeit von 20 Oscillationen

für den Drath mit dem Durchmesser 1 442 Sekunden

- - - - - - $\sqrt{\frac{66}{5}}$ 32 -

Es ist daher

für den ersten Drath, Zeit einer Schwingung 22,1 Sek.

- - zweiten - - - - 1,6 -

und der Torsionscoefficient für den ersten Drath $n = 3{,}866$

- - - - zweiten - $n_{,} = 737{,}5$

Diese Coefficienten stimmen sehr gut mit dem angegebenen Gesetze. Multiplicirt man nämlich den ersten Coefficienten mit dem Biquadrate des Durchmessers des zweiten Drathes, mit $\left(\frac{66}{5}\right)^2$, so erhält man $n_{,} = 673{,}6$ aus welchem Werthe sich nach der §. 65 gegebenen Formel die Zeit einer Oscillation des zweiten Drathes berechnen läfst. Man findet so die Zeit von 20 Oscillationen des zweiten Drathes = 33,4 Sekunden, nur um 1,4 Sekunde von der Beobachtung abweichend. Diese Uebereinstimmung ist sehr genügend bei einer Rechnung, in welcher ein geringer Fehler in der Bestimmung der Durchmesser der Dräthe einen bedeutenden Unterschied im Resultate veranlafst.

Hat man den Torsionscoefficienten n eines Drathes ge- 69
funden, dessen Länge und Dicke bekannt sind, so ist er zugleich für einen Drath derselben Beschaffenheit, aber von beliebigen Dimensionen gegeben. Bezeichnet man nämlich mit ν den Torsionscoefficienten eines solchen Drathes, wenn er die Längeneinheit zur Länge und zum Durchmesser hat, so ist, nach den angeführten Gesetzen, für einen ähnlichen Drath von der Länge l, dem Durchmesser d, der Torsionscoefficient $n = \frac{\nu d^4}{l}$. Der Werth ν, der aus einer Beobachtung bestimmt wird, kann der Torsionscoefficient der Materie des Drathes genannt werden. In dieser Weise hat Coulomb bestimmt, dafs der Torsionscoefficient des Eisens im Allgemeinen $3\frac{1}{3}$ mal gröfser ist, als der des Messings.

Gränze der Torsionskraft eines Drathes. Das 70

Digitized by Google

[70] Gesetz der Proportionalität der Torsionskraft mit dem Winkel der Drehung verlangt, dafs der Drath während der Drehung vollkommen elastisch sei, eine Bedingung, die bei jedem Drathe aus beliebigem Stoffe in genügender Strenge stattfindet, wenn der Drehungswinkel nur klein ist. Es ist daher bei der Bestimmung des Torsionscoefficienten angenommen worden, dafs die Oscillationen des Drathes mit geringer Amplitude anfangen. Ueberschreitet der Drehungswinkel die Gränze der vollkommenen Elasticität des Drathes, so ist die Reactionskraft des Drathes gegen die Drehung kleiner, als sie dem Winkel nach sein sollte, und in Folge davon sind die Oscillationen des an den Drath gehängten Gewichtes nicht mehr isochron, und ihre Amplituden nehmen in einem gröfseren Verhältnisse ab, als früher. Dreht man den Drath um einen noch gröfsern Winkel, so erfährt der Drath eine bleibende Aenderung, das Gewicht kommt nicht mehr in seiner anfänglichen Stellung zur Ruhe, sondern bleibt davon unter einem gewissen Winkel in der Richtung der Drehung stehen. Man nennt dies die Verrückung des Mittelpunktes der Torsionskraft des Drathes, und mifst diese Verrückung durch den Winkel, den die Ruhelage des Gewichtes nach der Drehung mit der vor der Drehung macht. Die Verrückung des Mittelpunktes ist desto gröfser, je gröfser der Drehungswinkel ist, aber es findet zwischen diesen beiden Winkeln kein einfaches Verhältnifs statt, und selbst bei Dräthen aus demselben Stoffe ist dies Verhältnifs nicht constant. Die Gränze der Torsionskraft eines Drathes ist nämlich nicht nur nach dem Stoffe verschieden, sondern auch nach der Behandlung, die der Stoff erfahren hat. Das Drathziehen selbst, je nachdem es mit mehr oder weniger Kraftanwendung geschehen, erweitert die Gränze der Torsionskraft des Metalles in höherem oder geringerem Grade, und nachheriges Ausglühen setzt sie wieder herunter. Die Verbindungen des Eisens mit Kohle (und man findet kein Eisen ohne Kohlengehalt) haben bekanntlich die Eigenschaft, durch Glühen und plötzliches Erkalten eine grofse Härte anzunehmen, und auch hierdurch wird die Gränze der Torsionskraft des Eisens weit hinausgerückt. Durch Glühen eines Eisendrathes und langsames Abkühlen wird die Gränze der Torsionskraft wieder verringert. Es lassen

Digitized by Google

sich daher für die Gränze der Torsionskraft der verschiedenen [70]
Metalldräthe keine allgemein gültigen Bestimmungen machen, und jeder Drath, dessen Torsionskraft angewendet werden soll, mufs eigens in dieser Hinsicht geprüft werden.

Die Gränze der Torsionskraft eines Drathes aus bestimm- 71
tem Stoffe nimmt mit seiner Tragkraft ab, worüber Coulomb einen interessanten Versuch beigebracht hat. Er nahm einen Messingdrath, der 22 livres tragen konnte, ehe er rifs, und bestimmte seinen Torsionscoefficienten und die Gränze seiner Torsionskraft. Nachdem er bis zum Weifsglühen erhitzt worden, betrug seine Tragkraft nur 12 bis 14 livres, und die Gränze seiner Torsionskraft war in eben dem Grade vermindert, obgleich sein Torsionscoefficient genau der frühere geblieben war. — Die Gränze der Torsionskraft eines geglühten Drathes kann durch Drehen selbst wieder auf den Punkt gebracht werden, den sie vor dem Glühen hatte. Coulomb fand an einem Messingdrathe die Gränze der Torsionskraft 480 Grad; nachdem er ihn geglüht hatte, war sie nur 50 Grad, erreichte aber, nachdem der Drath 90mal um seine Axe gedreht war, ungefähr 500 Grad. — Die Gränze der Torsionskraft ist für Messing gröfser als für Eisen. Coulomb gebrauchte Messingdräthe von 3 Fufs Länge und verschiedener Dicke, welche, während 30 Stunden einer Drehung von 8 ganzen Kreisen ausgesetzt, nachher keine merkliche Veränderung des Mittelpunktes der Torsion zeigten.

Es ist nothwendig, die Gränze der Torsion eines Drathes zu kennen, der in der Torsionswage dienen soll. In dieser Hinsicht sind die Glasfäden bequem, da man bei ihnen diese Gränze nicht zu untersuchen braucht; sie tritt nach Ritchie[1]) erst an dem Punkte ein, wo der Faden bricht.

Mit Hülfe der hier vorgetragenen Sätze über die Torsion 72
der Dräthe ist man im Stande, der Torsionswage denjenigen Grad von Empfindlichkeit zu geben, den die damit anzustellenden Versuche bedürfen. Man mufs sich indefs hüten, die Empfindlichkeit des Instruments zu weit zu treiben; die Versuche werden langwieriger und ungenauer, weil der zu em-

[1]) *Philos. transact. f.* 1830. *p.* 215. Schweigger Journal, 61. 384.

Digitized by Google

[72] pfindliche Wagebalken äufseren, niemals ganz zu entfernenden, Einflüssen nachgiebt. Die Torsionswage verlangt grofse Vorsicht bei ihrer Anwendung; im Allgemeinen ist zu merken, dafs sie nur in einem trockenen, möglichst gleich warmen Lokale gebraucht werden darf, und dafs man vermeiden mufs, ihr eine Wärmequelle (eine Lichtflamme, die warme Hand) längere Zeit nahe zu bringen. Ohne diese letztgenannte Vorsicht entstehen, wie Lenz [1]) gezeigt hat, im Innern des Glascylinders Luftströmungen, die den Stand des Wagebalkens auf das Merklichste afficiren. Auffallend aber ohne Einfluſs auf elektrische Messungen, die, wenn sie vergleichbar sein sollen, stets kurze Zeit nach einander angestellt sein müssen, ist der Umstand, dafs man häufig von einem Tage zum andern den Nullpunkt des Torsionskreises verrücken mufs, damit der Balken bei der Torsion Null die im Mikroskope bestimmte Stelle einnehme. Diese, noch nicht aufgeklärte, Wandelbarkeit der Ruhelage eines an einem Metalldrathe aufgehängten Balkens ist auch von Reich [2]) bei seinen Versuchen über die Dichtigkeit der Erde bemerkt worden.

Das Torsionselektroskop und Elektrometer.

73 Zur Erkennung geringer Elektricitätsmengen hat Coulomb ein sehr empfindliches Elektroskop nach dem Principe seiner Torsionswage [3]) construirt, von welchem Biot aus dem Manuscripte Coulomb's eine genaue Beschreibung und Messungen seiner Empfindlichkeit mitgetheilt hat [4]). Ein gewöhnliches cylindrisches Trinkglas wird mit einem gläsernen Deckel bedeckt, durch dessen Mitte, in einer Holzbüchse drehbar, ein Metallstift gesteckt ist, der oben in einem Knopfe endigt (Fig. 27.). An diesem Stifte ist ein einfacher Coconfaden von 4 Zoll Länge befestigt, der durch eine mit Schellack überzogene Stecknadel gespannt wird. An dem oberen Ende der

[1]) Poggendorff Annalen.* 25. 241.
[2]) Neue Versuche mit der Drehwage.* Leipz. 1852. 406.
[3]) *Mém. de l'Acad. de Paris.** 1785. *p.* 577. 1786. *p.* 72.
[4]) *Traité de physique.** 2. 349.

Digitized by Google

Nadel ist ein dünner 7 Linien langer Schellackfaden horizontal [73]
befestigt, der eine kleine, 2 Linien im Durchmesser haltende, Scheibe aus Rauschgold trägt. Der Schellackfaden wog mit der Scheibe $\frac{1}{4}$ grain. Die Wand des Glases ist in der Höhe der schwebenden Scheibe durchbohrt; die Oeffnung hat einen Durchmesser von einigen Linien. Um das Instrument zu gebrauchen, theilt man der Scheibe schwache Elektricität mit, und bringt sie durch Drehung des Knopfes in eine Entfernung von 20 bis 30 Graden von der Oeffnung. Den zu untersuchenden Körper berührt man mit einer kleinen Kugel, die man an einem Schellackstabe durch die Oeffnung in das Glas bringt. Es ist nöthig, den Stab an dem Ende mit Stanniol zu belegen, damit der Schellack nicht mit der Hand berührt und dadurch elektrisirt wird. Auch ist es gut, den Stab vor dem Versuche durch die Spitze einer Spiritusflamme zu führen, um ihn von jeder Elektricität zu befreien. Aus der Bewegung der elektrisirten Scheibe durch Einwirkung der kleinen Kugel schliefst man auf die Art und Stärke der auf der Kugel befindlichen Elektricität. Biot kittete in der seitlichen Oeffnung des Glases einen Drath fest, der in zwei Kugeln endigte, von welchen die innere dem Mittelpunkte der schwebenden Scheibe entspricht, die äufsere zur Aufnahme der zu untersuchenden Elektricität dient.

Um die Empfindlichkeit seines Elektroskops zu beurtheilen, befestigte Coulomb an dem Coconfaden eine Kupferscheibe von 5 Linien Durchmesser und $8\frac{1}{2}$ grains Gewicht. Diese Scheibe machte durch die Torsionskraft des Fadens 4 Oscillationen in 180, also 1 Oscillation in 45 Sekunden. Nach diesem Versuche ist der Torsionscoefficient n des Fadens zu berechnen. 74

Man hat $n = \frac{Pr^2}{2\lambda T^2}$ mit der §. 65. gegebenen Bedeutung der Zeichen. Die zur Drehung des Fadens um 90° nöthige Kraft, die an einem Hebelarme von b Linien wirkt, ist $n_1 = \frac{n\pi}{2b} = \frac{Pr^2\pi}{4b\lambda T^2}$. Mit den Werthen

$r = 2{,}5 \quad b = 7 \quad \lambda = 440{,}5$ Linien
$P = 8{,}5$ grains $\quad T = 45$ Sekunden $\quad \pi = 3{,}1416$

Digitized by Google

[74] berechnet man $n_1 = 0{,}00000668$ grain. Diese Kraft reicht also hin, den Coconfäden des beschriebenen Elektroskops in einer Drehung von 90° zu erhalten, wenn die Kraft normal gegen das Ende des Wagebalkens wirkt. Letzteres ist aber im Elektroskope nicht der Fall. Die Elektricität der festen Kugel wirkt in der Verbindungslinie der Kugel und der schwebenden Scheibe, oder unter einem Winkel von 45° gegen den Balken. Man hat also das gefundene n_1 noch durch cos. 45 zu dividiren, um die Kraft zu erhalten, welche die feste Kugel besitzen mufs, damit sie den Wagebalken um 90° abstofse. Hierzu ist demnach 0,0000094 oder noch nicht $\frac{1}{100000}$ grain hinreichend, woraus die Empfindlichkeit des von Coulomb gebrauchten Elektroskops hervorgeht.

75 Eine so grofse Empfindlichkeit hat man jetzt dem Instrumente nicht zu geben nöthig, da das Säulenelektroskop (§. 16.) zur Erkennung der geringsten Elektricitätsmengen dient. Das Coulombsche Instrument ist hingegen von grofsem Nutzen, vorläufige Messungen von Elektricitätsmengen vorzunehmen, und wird als wirkliches *Elektrometer* gebraucht. Das Verfahren hierbei ist von dem an der Torsionswage vorzunehmenden wenig verschieden, und wird später (§. 114.) angegeben werden. An dem Instrumente sind behufs der Messung einige Aenderungen anzubringen (Fig. 27.). Der Zuleitungsdrath mit den beiden Kugeln ist nicht nach Biot's Vorschlag in der Seitenöffnung des Glases festgekittet, sondern befindet sich in einer Glasröhre, die durch die Metallhülse *a* gesteckt wird. Diese Hülse wird von einem Metallstabe getragen, der in einem am Fufsbrette des Instruments befestigten Gelenke beweglich ist. Soll das Instrument als Elektrometer dienen, so entfernt man den Zuleitungsdrath, schlägt den Metallstab zurück, so dafs die Hülse *a* vertical steht, und steckt in dieselbe den Fufs eines kleinen Holztisches (Fig. 28.). Auf der Tischplatte ist ein Metallwinkel *b* befestigt, der die Lage einer Metallplatte *d* sichert, an welcher ein langer Schellackcylinder, mit einer kleinen Kugel *f* am Ende, befestigt ist. Der Tisch wird so gerichtet, dafs, wenn die Platte *d* darauf liegt, die Kugel *f* in dem Glascylinder steht und von der Mitte der an dem Wagebalken befestigten Rauschgoldscheibe berührt

Digitized by Google

werden kann. Der Deckel des Glascylinders besteht aus einer [75]
Glasscheibe mit vorspringendem, mit Tuch gefütterten, Metallringe, der das Glas fest umschliefst. An dem Ringe ist ein Bleiloth *g* befestigt, das die unveränderte Stellung des Ringes zu constatiren bestimmt ist. Dazu ist der Umkreis des Glases in der Höhe der Seitenöffnung mit Oelfarbe in eine beliebige Anzahl gleicher Theile getheilt. Der papierne Torsionskreis auf dem Deckel ist in Grade getheilt und hat bei dem Nullpunkte eine kleine gegen die Theilung freie Messingfeder, an die der Torsionszeiger bei dem Vorbeigehen anschlagen mufs. Es ist nämlich bequem, dafs man die ganzen Umdrehungen des Zeigers durch das Gehör erkennen kann. Bei dem Transporte des Instruments wird der Korkpfropfen *i* in die Oeffnung *e* des Glases gesteckt, so dafs die daran befestigte Gabel den Wagebalken festhält. An dem von mir benutzten Elektrometer ist der Glascylinder $6\frac{1}{2}$ Zoll hoch, $3\frac{1}{4}$ weit, der rohe Seidenfaden $3\frac{1}{4}$ Zoll lang, der Schellackstiel der Kugel *f* $3\frac{1}{8}$ Zoll lang.

Dellmann's Elektrometer. Es kommen Fälle vor, 75*
wo Elektricität gemessen werden soll, die zwar in grofser Menge aber von nur sehr geringer Dichtigkeit erhalten werden kann. Dazu ist Coulomb's Wage oder das Torsionselektrometer nicht anwendbar, da die Prüfungskugel nur von geringer Gröfse genommen, die Empfindlichkeit dieser Instrumente nicht ohne Nachtheil der Genauigkeit hinreichend gesteigert werden kann. Man ist dann genöthigt das Peltiersche Elektrometer (§. 57.) anzuwenden, oder besser der Torsionswage eine andere Einrichtung zu geben, die Dellmann vorgeschlagen und Kohlrausch ausgeführt hat[1]). Diese Einrichtung besteht im Wesentlichen darin, dafs der Wagebalken ganz aus Metall, der Aufhängedrath aus Glas genommen und statt der festen Kugel ein Metallstreifen angewendet wird, dessen Kante in der Mitte eingeschnitten ist, so dafs die dadurch gebildeten Lappen nach entgegengesetzten Seiten ausgebogen werden können. Dieser Streifen wird in dem Kasten der Wage, der aus einem Metallcylinder mit dicken

[1]) Poggendorff Annalen. 72. 353.

Digitized by Google

[75*] Wänden besteht, so befestigt, dafs die Mitte des Wagebalkens in seinem Ausschnitte zu liegen kommt, und die Arme des Balkens die Lappen des Streifens an entgegengesetzten Seiten in ganzer Länge berühren können. Der Streifen kann durch eine Hebelvorrichtung gehoben werden, und berührt alsdann den Balken in der Mitte; wird er dabei durch einen Zuleitungsdrath elektrisirt, dann wieder gesenkt und isolirt, so stöfst er den durch ihn elektrisirten Wagebalken ab. Diese Abstofsung ist verhältnifsmäfsig sehr kräftig, da die angebrachte Elektricität auf der ganzen Länge des Balkens und Streifens vertheilt ist, während sie sich bei der Coulombschen Wage nur an dem Ende des Balkens und auf der festen Kugel befindet. Aufserdem wird aber noch der Wagebalken hier durch die Aufhängung sehr empfindlich gemacht. Der Balken besteht aus einem sehr dünnen 26 Linien langen Silberdrathe, und dieser hängt an einem 21 Zoll langen Glasfaden von solcher Dünne, dafs er die Biegung zu einem Kreise von 0,3 Linie Durchmesser verträgt. Der Apparat verlangt zu seiner Benutzung Vorsichtsmafsregeln und Correctionen, die Kohlrausch in dem angeführten Aufsatze ausführlich angegeben hat.

Digitized by Google

Zweites Kapitel.

Abstofsung und Anziehung elektrisirter Körper nach ihrer Entfernung und Elektricitätsmenge.

Zwei Körper nähern sich einander, oder entfernen sich von 76
einander, je nachdem sie ungleichartig oder gleichartig elektrisirt sind (§. 8. und 9.). Diese Bewegungen haben Einige von einer gegenseitigen Anziehung und Abstofsung der elektrisirten Körpertheile abgeleitet, Andere [1]) von dem Drucke der Luft, der an entgegengesetzten Seiten der bewegten Körper verschieden stark sei. Welche von beiden Erklärungen, und jede von ihnen unterliegt gewichtigen Zweifeln, man als die wahrscheinlichste annehmen will, die Ausdrücke Anziehung und Abstofsung sind als kurze Bezeichnungen der Erscheinung beizubehalten. Die elektrischen Bewegungen hangen ab von der Entfernung der auf einander wirkenden Körper und von der ihnen ertheilten Elektricitätsmenge. Um die erste Abhängigkeit in Zahlen zu bestimmen, hat man zu entscheiden, zwischen welchen Punkten der beiden Körper die Entfernung zu messen sei. Bei unsymmetrischen Körpern ist von vorn herein kein Punkt vor dem andern ausgezeichnet, und auch nach den Versuchen haben bisher keine Punkte angegeben werden können, zwischen welchen gemessen, die Entfernung in einfacher Beziehung zu den elektrischen Wirkungen der Körper stände. Bei symmetrischen Körpern hingegen, z. B. bei Kugeln und Scheiben, ist der Mittelpunkt ein hervorstechender Punkt, der sich zur Bestimmung der Entfernung bietet, und diese wird noch durch eine theoretische Betrachtung unterstützt. Die Mechanik lehrt, dafs wenn alle Punkte concentrischer Kugelschalen mit Kräften versehen

[1]) *Beccaria: philos. transact.** 1760. 514. *Euler lettres à une princ.** *Mitau* 1770. 2. 299. *Biot traité de phys.** 2. 319.

Digitized by Google

[76] sind, die einen entfernten Punkt nach dem umgekehrten Verhältnisse der Quadrate der Entfernung anziehen oder abstofsen, die Schalen auf den Punkt so wirken, als ob alle vorhandenen Kräfte in dem gemeinschaftlichen Mittelpunkte der Kugelschalen vereinigt wären. Findet sich daher, wie wir sogleich durch Versuche lernen werden, dafs zwei elektrisirte Kugeln nach dem umgekehrten Verhältnisse der Quadrate der Entfernung ihrer Mittelpunkte einander anziehen und abstofsen, so ist damit zugleich gezeigt, dafs dasselbe Gesetz für zwei einzelne elektrisirte materielle Punkte gilt. Es ist hier und in der Folge unter Entfernung zweier Körper, wenn es nicht anders gesagt ist, die Entfernung ihrer Mittelpunkte zu verstehen.

Abstofsung elektrisirter Kugeln nach ihrer Entfernung von einander.

77 Die gegenseitige Abstofsung zweier gleichartig elektrisirten Kugeln steht im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats ihrer Entfernung von einander.

Dies Gesetz läfst sich leicht mit Hülfe der Torsionswage (§. 60.) aufweisen in eben der Weise, wie es von Coulomb zuerst geschehen ist[1]). Man stellt den Index des Torsionskreises auf Null und bringt durch Drehung des Aufsatzes in seiner Hülse die an dem Wagebalken befindliche Kugel auf den Nullpunkt der unteren Eintheilung, wodurch diese Kugel mit der Standkugel in Berührung kommt. Durch Einführung eines kleinen elektrisirten Körpers, der an einem isolirenden Stiele gehalten wird, in das Innere der Torsionswage elektrisirt man beide Kugeln gleichzeitig. Die bewegliche Kugel wird von der Standkugel abgestofsen und stellt sich nach einigen Schwingungen unter einen bestimmten Winkel gegen dieselbe, der an der untern Eintheilung abgelesen wird. Man dreht hierauf den Torsionskreis um eine beliebige Anzahl Grade, und zwar in solcher Richtung, dafs der Wagebalken sich der Standkugel nähert, und wartet bis der Balken eine feste Stellung eingenommen hat, wonach man ihm durch fernere

[1]) *Mém. de mathém. de l'Acad. d. Scienc d. Par.* 1785.* *p.* 572.

Digitized by Google

Drehung des Torsionskreises eine andere Stellung giebt. Zwei [77]
solcher Beobachtungen reichen hin, das fragliche Gesetz zu prüfen. Eine grofse Anzahl vergleichbarer Beobachtungen kann man nicht erlangen, und zwar aus dem zwiefachen Grunde, weil man sie, um einen merklichen Verlust von Elektricität zu vermeiden, in kurzer Zeit erhalten mufs, und ferner (da sich dieser Verlust in Rechnung bringen liefse) weil es nicht räthlich ist, von einander sehr verschiedene Entfernungen der Kugeln anzuwenden. Hierzu ist nämlich nöthig, dafs die erste Entfernung bedeutend, die letzte sehr klein sei, beide Fälle führen aber wesentliche Nachtheile mit sich. Um eine bedeutende Abstofsung der Kugeln zu erhalten, mufs man sie stark elektrisiren, wobei stets ein Theil der angebrachten Elektricität auf die Schellacknadel oder selbst auf die Glaswand der Wage übergeht und die Bewegung des Wagebalkens unregelmäfsig macht. Bei einer zu geringen Entfernung der elektrisirten Kugeln aber treten Aenderungen der Elektricitätsmengen der Kugeln selbst ein, welche die Beobachtungen stören. Man wird sich daher stets auf zwei oder drei Beobachtungen beschränken, die hinreichen, das Gesetz der Abstofsung aufser Zweifel zu stellen.

Folgende sind die von Coulomb ausgeführten Beobach- 78
tungen. Derselbe wendete in seiner oben beschriebenen cylindrischen Torsionswage einen Schellackbalken von 8 Zoll Länge an, der an einem äufserst feinen 28 Zoll langen Silberdrath aufgehängt war. Ein Fufs dieses Drathes hatte ein Gewicht von $\frac{1}{16}$ grain. Als der Torsionsindex auf Null stand, betrug die Abstofsung der Kugel 36 Grad. Der Index wurde nun um 126 Grade gedreht, wonach der Wagebalken bei 18 Grad zur Ruhe kam. Eine fernere Drehung des Torsionskreises bis 567 Grad führte den Wagebalken in die Entfernung $8\frac{1}{2}$ Grad von der Standkugel.

Gegebene Torsion.	Repulsionswinkel.
0	36
126	18
567	$8\frac{1}{2}$

Man sieht, dafs bei diesen Versuchen die Repulsionswinkel der Kugel absichtlich gewählt worden sind, wozu die Anwen-

Digitized by Google

[78] dung des sehr feinen und schwer zu handhabenden Silberdrathes nöthig war. Da man indefs diese Versuche stets einer Rechnung unterwerfen mufs, um aus ihnen das Gesetz der Abstofsung abzuleiten, so ist das bestimmte Verhältnifs der Entfernungen von keinem wesentlichen Vortheile, und vermehrt unnöthigerweise die Zeit, welche zur Anstellung der Versuche erfordert wird. Ich führe deshalb noch eine beiläufig gemachte Wiederholung dieser Versuche an, bei welchen ich weder dem Torsions- noch dem Repulsionswinkel einen vorherbestimmten Werth gab. Die angewandte Torsionswage hatte die Dimensionen der Coulomb'schen, nur war die Aufsatzröhre kürzer, und der Silberdrath, der dicker als der von Coulomb angewandte war, hatte eine Länge von nur 20 Zoll. Es wurden folgende Werthe beobachtet:

Gegebene Torsion.	Repulsionswinkel.
0	42
70	28
110	23

79 Diese Versuche sind folgendermafsen in Rechnung zu bringen. Es bezeichne O in Fig. 29 den Mittelpunkt der Torsionswage, Oo die Standlinie, in deren Endpunkt sich die Standkugel o befindet. Der Wagebalken sei durch Abstofsung der elektrisirten Kugeln und durch Drehung des Fadens in die Lage Op gebracht und daselbst im Gleichgewicht. Der Repulsionswinkel oOp werde mit r, der Winkel, um welchen der Faden durch den Torsionskreis gedreht worden, mit t bezeichnet.

Ist die Abstofsung der auf den beiden Kugeln vorhandenen Elektricitätsmengen $= F$, wenn sie in der Entfernung 1 auf einander wirken, so wird die Abstofsung nach dem zu beweisenden Gesetze in der Entfernung op durch $\frac{F}{op^2}$ ausgedrückt werden. Von dieser Kraft kann aber nur der Theil zur Drehung des Wagebalkens beitragen, der in der Richtung qp wirkt; hiernach ist das Drehungsmoment $= \frac{F \cos. opq}{op^2}$. Wie man sich leicht durch die in der Figur ausgeführte Construction überzeugt, ist dieser Ausdruck $= \frac{F \cos. \frac{r}{2}}{\left(2 \sin. \frac{r}{2} \times Op\right)^2}$.

Digitized by Google

Die Torsionskraft des Fadens, welche diesem Momente [79]
entgegenwirkt, ist nT, wenn T den Winkel bezeichnet, um den der Faden aus seiner Gleichgewichtslage gedreht ist. Der Faden hat aber im Allgemeinen eine zweifache Drehung erfahren, eine um den Winkel r durch die Repulsion der Kugel, die andere um den Winkel t durch den Torsionskreis. Es ist also $T=r+t$ und die Bedingung des Gleichgewichts

$$\frac{F\cos.\frac{r}{2}}{\left(2\sin.\frac{r}{2}\times Op\right)^2}=n(r+t)$$

oder wenn wir das Product aller Gröfsen, die bei den mit einander zu vergleichenden Versuchen constant bleiben, mit A bezeichnen und auf eine Seite bringen

$$(r+t)\sin.\frac{r}{2}\,\text{tang.}\frac{r}{2}=A$$

Wenn die hierdurch angegebene Rechnungsoperation mit 80
den beobachteten Winkeln r und t bei allen zusammengehörigen Versuchen eine constante Zahl liefert, so wird damit das zu Grunde liegende Gesetz der Abstofsung der elektrisirten Kugeln bewiesen sein. Die Constanz der Zahl A findet nun zwar weder bei Coulomb's Versuchen, noch bei den meinigen, in aller Strenge statt, die Abweichungen sind aber nicht gröfser, als durch nicht zu vermeidende Beobachtungsfehler und störende Einflüsse erklärt werden können. Da, wie man sieht, der Repulsionswinkel r, der an der untern unvollkommenen Eintheilung der Torsionswage abgelesen wird, den gröfsten Einfluſs auf die Gröfse A hat, so wird es nöthig, die beobachteten Werthe dieser Winkel mit denen zu vergleichen, die aus der obigen Formel folgen.

In Coulomb's Versuchen ist für $t=o$ $r=36$ daher $A=3{,}614$; hiermit findet man durch Näherung folgende Werthe für r

Gegebene Torsion t	Repulsionswinkel r	
	beob.	berechn.
0	36	36
126	18	18° 6′
567	8° 30′	9° 4′

Digitized by Google

[80] In meinen Versuchen ist für $t=o$ $r=42$ daher $A=5{,}778$; die Repulsionswinkel finden sich folgendermafsen:

Gegebene Torsion t	Repulsionswinkel r beob.	berechn.
0	42	42
70	28	27° 44′
110	23	23° 42′

Die beiden ersten Beobachtungen jeder Versuchsreihe stimmen so vollkommen mit der Rechnung, dafs durch sie das fragliche Gesetz aufser Zweifel gesetzt wird. Die Messung des Repulsionswinkels geschah nämlich an dem um den Glascylinder gelegten Papierstreifen, wobei ein Fehler von $\frac{1}{4}$ Grad nicht auffallen kann. Es ist als gewifs anzunehmen, dafs bei einer schärferen Winkelmessung die Unterschiede zwischen dem beobachteten und berechneten Repulsionswinkel bedeutend geringer ausgefallen wären. Anders ist es mit der dritten Beobachtung jeder Reihe. Hier beträgt der Unterschied zwischen Beobachtung und Rechnung mehr als $\frac{1}{2}$ Grad, und zwar ist in beiden Reihen der beobachtete Winkel kleiner als er nach der Rechnung sein sollte. Allein auch diese Abweichung von dem Gesetze ist leicht zu erklären. Sie rührt theils von dem Verluste an Elektricität, welchen die Kugeln bei dieser, einige Minuten nach dem Anfange des Versuches gemachten, Beobachtung erlitten hatten, hauptsächlich aber davon her, dafs, wie später erörtert werden wird, die Annahme, die auf den Kugeln verbreiteten Elektricitäten wirkten so, als ob sie in den Mittelpunkten der Kugeln vereinigt wären, nicht mehr in aller Strenge gilt, wenn die Kugeln bis auf eine gewisse Entfernung einander genähert werden.

81 Man kann das Gesetz der elektrischen Abstofsung auch an einem nach dem Principe der gewöhnlichen Gewichtswage construirten Instrumente aufzeigen. Nachdem Simon[1]) an einer solchen Wage ein von dem früheren abweichendes Gesetz der Abstofsung gefunden hatte, ist von Egen[2]) gezeigt worden, dafs sich die daran erhaltenen Messungen mit den in der Torsionswage gefundenen vereinigen lassen. Die Versuche

[1]) Gilbert Annalen.* 28. 277. [2]) Poggend Ann.* 5. 294.

Digitized by Google

wurden in folgender Weise angestellt. Es wird ein kleiner [81]
Wagebalken *abc* (Fig. 30.) aus einem $3\frac{1}{2}$ Zoll langen dünnen Messingdrathe und aus einem eben so langen 0,52 Linie dicken Schellackfaden zusammengesetzt. In der Mitte des Balkens wird normal ein Schellackstäbchen befestigt, das an seinen Enden zwei verticale Nadelspitzen trägt; mit diesen ruht der Balken auf einer fein polirten Achatplatte. Das Schellackende des Balkens ist zu einer feinen Spitze ausgezogen und mit einer sorgfältig abgedrehten Kugel aus Kork oder Hollundermark versehen, an dem Messingende wird ein kleines Drathstück gekittet, das zum Anhängen der Dräthe dient, welche die Gewichte bilden. In Egen's Versuchen hatte die Kugel einen Durchmesser von 0,335 Zoll, der völlig vorgerichtete Wagebalken wog 1,5 Gramm. — Der Ausschlag der Wage wird an dem verticalen Stabe *gh* abgelesen, der neben der messingenen Hälfte des Balkens angebracht und in eine Anzahl Theile getheilt ist, von welchen jeder 0,05 Zoll beträgt. Der Balken mufs so empfindlich gemacht sein, dafs die Anhängung von 0,00001 Gramm noch einen Ausschlag von $\frac{1}{4}$ Theil hervorbringt. An der andern Seite des Balkens ist das mit einer Theilung versehene Metallprisma *ef* unverrückbar aufgestellt, an welchem der Schieber *e* mit leichter Bewegung auf und ab bewegt und festgestellt werden kann. Dieser Schieber trägt eine 4 Zoll lange dünne Schellackstange, an deren Ende eine Korkkugel von der Gröfse der an der Wage befindlichen, befestigt ist. — Der ganze Apparat wird in einen Glaskasten eingeschlossen. Vor Beginn des Versuches mufs der Wagebalken völlig in Ruhe sein, damit die Abweichung vom horizontalen Stande an der Theilung *gh* bemerkt werden kann. Alsdann hat man die Kugel des Ständers genau senkrecht über die Kugel des Balkens zu bringen, und zwar so, dafs beide Kugeln einander berühren; die Kugeln werden dann gemeinschaftlich elektrisirt. Indem man nun die Kugel *d* an dem Prisma um eine bekannte Gröfse erhöht, und an das Ende *a* des Wagebalkens Gewichte anhängt, gelangt man leicht dahin, den anfänglichen Stand des Balkens wieder herzustellen; eine kleine Abweichung davon kann abgelesen und in Rechnung gebracht werden. Eine andere

Digitized by Google

[81] Belastung der Wage bei veränderter Entfernung der Kugel liefert den zweiten Versuch, der aus dem ersten nach dem Gesetze der Abstofsung berechnet werden kann. Man habe die Entfernungen zwischen den Mittelpunkten der Kugel genommen, und die Gewichte bestimmt, welche in diesen Entfernungen die Abstofsung aufwiegen; die Gewichte werden dann im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen stehen müssen. Folgende Versuche sind von Egen angestellt worden. Die Entfernungen sind in 200tel eines Zolls angegeben, die Gewichte waren Drathstücke, von welchen 8,4 ein Milligramm wogen.

Entfernung der Mittelpunkte der Kugeln.		Erste Belastung.		Zweite Belastung.
Erste	Zweite	beobacht.	berechnet	
276	211	0,9	0,76	1,3
263	204	0,9	0,84	1,4
256	189	1,2	0,98	1,8
263	220	1,8	1,89	2,7
267	201	2,8	3,29	5,8
207	123	2,5	2,51	7,1
243	156	2,6	2,60	6,3
313	173	2,6	2,23	7,3
298	175	2,6	2,86	8,3
312	151	2,6	2,51	10,7
251	163	2,7	2,78	6,6

Ich habe neben die beobachteten ersten Belastungen die Werthe gestellt, welche nach dem Gesetze der Abstofsung aus den Entfernungen und der zweiten Belastung folgen. Die Abweichung der beobachteten Werthe von den berechneten kann aus dem Einflusse der elektrisirten Kugeln auf einander und den unvermeidlichen Fehlern bei den Bestimmungen der Entfernung und Belastung genügend erklärt werden. In Hinsicht auf die letzte Bestimmung ist zu bemerken, dafs die Gewichtseinheit ein Drathstück von ungefähr 0,6 preufs. Linie Länge war, dessen Bruchtheile nicht sicher angegeben werden können. Dafs die Aenderung der Belastung in den 6 letzten Versuchen fast verschwindet, rührt von der immer noch zu geringen Empfindlichkeit der Wage her, die nicht ohne anderweitige Nachtheile vergröfsert werden kann. Die Anwendung der Gewichtswage bei feinen elektrometrischen Ver-

Digitized by Google

suchen steht daher der der Torsionswage bei Weitem nach [81]
und ist hier hauptsächlich nur darum aufgeführt, weil sie einige Zeit lang Veranlassung gegeben hat, das Gesetz der elektrischen Abstofsung nach dem umgekehrten Verhältnisse der Quadrate der Entfernung in Zweifel zu ziehen.

Anziehung zweier Kugeln nach der Entfernung.

Zwei ungleichartig elektrisirte Kugeln ziehen einander an 82
im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats ihrer Entfernung.

Auch dies Gesetz ist von Coulomb bewiesen worden[1]), und zwar zuerst durch Versuche an der Torsionswage. Nachdem die Standkugel der Wage entfernt worden, theilt man der Kugel des Wagebalkens Elektricität einer bestimmten Art mit, und entfernt jene durch Drehung des Torsionskreises von dem Nullpunkte. Alsdann bringt man die Standkugel, nachdem man ihr Elektricität entgegengesetzter Art gegeben, an ihre frühere Stelle. Beide Kugeln werden sich anziehen, und die bewegliche wird in einer bestimmten Lage ruhen, wenn daselbst die Torsionskraft des Fadens der Anziehungskraft der Kugeln gleich ist. Eine neue Drehung des Torsionskreises wird die bewegliche Kugel in eine andere Entfernung von der ruhenden bringen, und aus beiden Versuchen wird sich das oben ausgesprochene Verhältnifs der Anziehung nach der Entfernung herausstellen.

Diese Versuche mifsglücken oft, weil je nach den Elek- 83
tricitätsmengen, die den beiden Kugeln mitgetheilt wurden, der Winkel, um den der Wagebalken Anfangs von dem Nullpunkte entfernt worden ist, nicht kleiner als eine gewisse Gröfse sein darf, damit der Balken eine feste Lage einnehmen kann. Ist diese Bedingung zufällig nicht erfüllt, so nähert sich die bewegliche Kugel der festen bis zur Berührung, und damit ist der Versuch verloren. Folgende Betrachtung wird dies deutlicher machen. Es bezeichne α den Winkel, um den die bewegliche Kugel durch Bewegung des Torsionskreises von ihrem

[1]) *Mém. de Mathém. et Phys. de l'Acad. d. Sciences de Paris.* 1785. 578.

Digitized by Google

[83] Nullpunkte entfernt worden, x den Winkel, um den sie sich durch elektrische Anziehung demselben wieder genähert hat; die Entfernung der beiden Kugeln ist daher, wenn wir der Einfachheit wegen die Winkel sehr klein annehmen, $a - x$. Wird sonach die Anziehung der beiden Kugeln in der Einheit der Entfernung mit D bezeichnet, so ist diese Anziehung bei der angenommenen Stellung der Kugeln $\frac{D}{(a-x)^2}$. In dieser Stellung ist der Faden, an dem der Wagebalken aufgehängt ist, um den Winkel x gedreht, die Torsionskraft ist diesem Winkel proportional oder $= nx$. In dem Falle, dafs die bewegliche Kugel eine feste Lage angenommen hat, ist die Anziehung gleich der Torsionskraft, also

$$\frac{D}{(a-x)^2} = nx \text{ oder } D = nx(a-x)^2$$

In dem letzten Ausdrucke ist die Anziehung der beiden Kugeln, in der Einheit der Entfernung, ausgedrückt durch die Winkel a und x, von welchen der erste zu Anfange des Experiments willkürlich gewählt, der letzte durch die Anziehung der Kugeln bestimmt worden ist. Man überzeugt sich leicht, dafs dieser Ausdruck für D einen gewissen Werth nicht überschreiten könne, und findet diesen, nach der Regel zur Auffindung des Maximums einer Function, $= \frac{4}{27} n a^3$, dem Werthe $x = \frac{1}{3} a$ entsprechend. In allen Fällen also, in welchen der Werth D, der von den unbekannten Elektricitätsmengen abhängt, die man den beiden Kugeln gegeben hat, den angegebenen Gränzwerth übersteigt, wird die obige Gleichung und damit auch die Gleichgewichtslage der beweglichen Kugel nicht statthaben, es wird stets eine Berührung der Kugeln eintreten. Nun ist es zwar leicht, durch vorsichtiges Drehen des Torsionskreises während der Anziehung der Kugeln den Winkel a zu vergröfsern, und somit das Gleichgewicht möglich zu machen; da aber hierdurch der Wagebalken in Oscillationen geräth, so geschieht es häufig, dafs die bewegliche Kugel über die Gleichgewichtslage hinaus getrieben wird, und der Versuch mifsglückt. Durch Anbringung eines verticalen Schellackfadens vor der Standkugel läfst sich zwar das Berühren der Kugeln verhindern, aber alsdann haftet der Wagebalken leicht

Digitized by Google

an diesem Faden, es findet ein Verlust an Elektricität statt, [83]
und zwei verschiedene Versuche lassen sich nicht mehr mit einander vergleichen. Diesen Uebelständen ist es zuzuschreiben, dafs Coulomb die Zahlenwerthe seiner Versuche nicht mitgetheilt, und das Gesetz der Anziehung der beiden Elektricitätsarten auch noch auf eine andere complicirtere Weise festzustellen gesucht hat.

Eine Kugel von beträchtlicher Gröfse, aus Metall beste- 84
hend oder mit einem metallischen Ueberzuge versehen, wird auf isolirende Stützen gestellt (Fig. 31.). In der Richtung des horizontalen Durchmessers der Kugel läfst man eine Nadel an einem Coconfaden *cs* schweben, dessen Befestigungspunkt auf einem getheilten horizontalen Stabe *cf* verschiebbar ist. Diese Nadel *lg* besteht aus einem kurzen Schellackfaden, an dessen Ende eine kleine Scheibe *l* aus Goldpapier vertical angesetzt ist. Dimensionen der Scheibe und Nadel müssen sehr klein im Verhältnifs zum Halbmesser der Kugel, der Coconfaden aber so lang sein, dafs seine Torsionskraft keinen merklichen Einfluſs auf die Schwingungen der Nadel äufsert. Es ist durch Ueberzug mit Schellack dafür zu sorgen, dafs sowohl die Stützen der Kugel, als die Befestigung des Coconfadens die Elektricität gut isoliren. Theilt man nun der Kugel eine Elektricitätsart und der Scheibe *l* die entgegengesetzte mit, so bleibt die schwebende Nadel in der früheren Richtung, und kehrt, wenn man sie daraus entfernt, in dieselbe durch Oscillationen zurück. Diese Oscillationen sind langsamer oder schneller, je nach der gröfsern oder geringern Entfernung der schwingenden Scheibe von der Kugel. Hat man die Zeit einer bestimmten Anzahl von Oscillationen bei bestimmten Entfernungen gemessen, so wird durch Vergleichung der gewonnenen Zahlenwerthe das oben angegebene Gesetz der Anziehung der Elektricitäten nach den Entfernungen geprüft werden können. Die auf der Kugel angesammelte Elektricitätsmenge wirkt nämlich auf einen entfernten Punkt, als ob sie in dem Mittelpunkte der Kugel vereinigt wäre. Können, der Kleinheit der Scheibe wegen, alle Linien vom Mittelpunkte der Kugel zu den Punkten der Scheibe als parallel angesehen werden, so steht nach einem Satze der Mechanik die Zeit der Schwingungen der

Digitized by Google

[84] Scheibe im umgekehrten Verhältnisse zu der Quadratwurzel der sie bewegenden Kraft. Es sei die Zeit einer bestimmten Anzahl Oscillationen T, die bewegende Kraft q, man hat daher $T = \frac{n}{\sqrt{q}}$, oder, wenn d die Entfernung der Mittelpunkte der Kugel und der Scheibe bezeichnet, da, der Annahme gemäfs, die bewegende Kraft sich mit $\frac{1}{d^2}$ verändert, $T = nd$, die beobachteten Schwingungszeiten proportional den gemessenen Entfernungen. Wenn die Beobachtungen dies Verhältnifs bestätigen, wird auch das angenommene Gesetz der Anziehung der Elektricitäten nach der Entfernung bestätigt sein.

85 Coulomb gab der Kugel einen Durchmesser von 1 Fufs, der Scheibe l einen Durchmesser von 7 Lin., dem Coconfaden eine Länge von 8 Zoll. Er elektrisirte die Kugel positiv durch Berührung mit dem Knopfe einer geladenen leydener Flasche, näherte die schwebende Nadel der Kugel, und berührte die Scheibe mit einem guten Leiter. Hierdurch wurde die Scheibe mit einer bestimmten Menge negativer Elektricität geladen. Die Scheibe wurde successiv in die Entfernung 9, 18 und 24 Zoll von dem Mittelpunkte der Kugel gebracht, und jedesmal, nachdem sie in Schwingung versetzt war, wurde die Zeit von 15 Oscillationen beobachtet. Diese Zeit fand sich respective 20, 41, 60 Sekunden. Der letzte Zeitpunkt wurde 4 Minuten nach der Bestimmung des ersten beobachtet. Es war durch anderweitige Versuche gefunden worden, dafs in diesen 4 Minuten ein Theil der Elektricität der Kugel und Scheibe verloren gegangen war, welcher eine Verminderung der anfänglichen Anziehung um $\frac{1}{10}$ veranlafste. Um den letzten Versuch mit den früheren Versuchen vergleichbar zu machen, wird daher, weil die Schwingungszeiten sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln der Anziehung verhalten, die beobachtete Zeit mit $\sqrt{\frac{9}{10}}$ zu multipliciren sein, wodurch die Zeit von 60 auf 57 Sekunden vermindert wird. Bestimmt man in der Formel $T = nd$ die Constante n, welche die Schwingungszeit der Scheibe in der Entfernung von 1 Zoll bedeutet, im Mittel aus den 3 Beobachtungen auf 2,28 Sekunden, so erhält man folgende Uebereinstimmung der Rechnung mit der Beobachtung

Digitized by Google

[85]

Entfernung der Kugel von der Scheibe.	Dauer von 15 Schwingungen. beobachtet.	berechnet.
9 Zoll	20 Sekund.	20,5
18 -	41 -	41,0
24 -	57 -	54,7

Einfluſs der Elektricitätsmenge auf die elektrische Bewegung.

Es ist bisher die Kraft, mit der zwei Kugeln einander 86
in der Einheit der Entfernung abstoſsen oder anziehen, constant gesetzt, auf die vorhandenen Elektricitätsmengen also keine Rücksicht genommen worden. Die Abhängigkeit dieser Kraft von den Elektricitätsmengen der beiden Kugeln ist sehr einfach und in einem speciellen Falle durch einen leichten Versuch zu bestimmen. Man elektrisire in der Torsionswage die feste und die schwebende Kugel gleichzeitig, und bemerke die Torsion, bei welcher der Wagebalken unter einem bestimmten Repulsionswinkel, z. B. von 30°, zur Ruhe kommt. Bringt man nun die Elektricitätsmenge der festen Kugel auf die Hälfte, indem man die Kugel mit einer ihr gleichen Kugel berührt (§. 45.), und sucht man den Balken wieder auf 30° Repulsion zu führen, so findet man, daſs dies bei einer Torsion geschieht, die nahe die Hälfte der früheren ist. Die Verringerung der Elektricitätsmenge auf ein Viertel macht eine gleiche Verringerung der anfänglichen Torsion nöthig, damit der Repulsionswinkel des Balkens unverändert bleibe. Denselben Einfluſs auf die Torsion hat die Elektricitätsmenge der an dem Wagebalken schwebenden Kugel; hat man daher die Elektricitätsmenge jeder Kugel gleichzeitig auf die Hälfte gebracht, so ist nur ein Viertel der anfänglichen Torsion nöthig, den Balken in die bestimmte Stellung zu bringen. Aus diesen Versuchen ist zu schlieſsen, daſs die Wirkung zweier elektrisirten Kugeln auf einander *proportional dem Producte ihrer Elektricitätsmengen ist;* ein Resultat, das allgemein genommen, auch auf die

Digitized by Google

[86] Anziehung ungleichartig elektrisirter Kugeln ausgedehnt werden kann. Zur weiteren Prüfung dieses Gesetzes kann man, nach Coulomb's Vorschlag, die Schwingungen einer kleinen isolirten und elektrisirten Nadel beobachten, die in einer bestimmten Entfernung vor einer grofsen isolirten Kugel an einem Coconfaden aufgehängt ist. Bei ungleichartiger Elektrisirung von Nadel und Kugel ist die Zeit der Schwingungen der Nadel proportional mit $\frac{1}{\sqrt{\varphi}}$, wo φ die bewegende Kraft bedeutet, und nach der hier gemachten Annahme ist φ proportional mit qQ, wenn die Elektricitätsmenge der Nadel und Kugel respective mit q und Q bezeichnet wird. Indem man also der Kugel successiv die Elektricitätsmenge Q, $\frac{1}{2}Q$, $\frac{1}{4}Q$ giebt, wird man Oscillationszeiten erhalten, die nahe in dem Verhältnisse $1, \sqrt{2}, 2$ stehen. Eine genaue Uebereinstimmung mit diesen Zahlen wird schon darum nicht eintreten, weil die elektrisirten Körper während der Beobachtung Elektricität verlieren.

Messung von Elektricitätsmengen in der Torsionswage.

87 Die vorhergehenden Paragraphe setzen uns in den Stand, durch Beobachtungen an der Torsionswage die Elektricitätsmengen zu messen, die auf der festen Kugel (auch Stand- oder Prüfungskugel genannt) vorhanden ist. Hierzu dient die Formel, welche §. 79 über die Stellung des Wagebalkens gegeben wurde, nachdem man in dieselbe statt F, der Wirkung der beiden Kugeln in Einheit der Entfernung, das Product ihrer Elektricitätsmengen mit einer Constanten multiplicirt, gesetzt hat. Es ist demnach, wenn a eine Constante bezeichnet

$$Qq = a\,4\,l^2\,n\,T \sin.\frac{r}{2} \tang.\frac{r}{2}$$

mit folgender Bedeutung der Zeichen. Q Elektricitätsmenge der schwebenden, q die der Stand-Kugel; l die Länge des Wagebalkens vom Aufhängepunkt bis zur Mitte der Kugel; n das Gewicht, das normal gegen das Ende des Balkens wirkend, den Drath um 1 Grad drehen würde (§. 64.); T der Tor-

Digitized by Google

sionswinkel des Drathes; r die Elongation des Balkens (der [87]
Winkel, den der Balken mit der Linie bildet, die durch den Drehpunkt des Balkens und den Mittelpunkt der Standkugel geht).

Dieser Ausdruck gilt bei Abstoſsung wie bei Anziehung der beiden Kugeln der Wage, nur erhält er im letztern Falle das negative Vorzeichen, da Elektricitätsmengen ungleicher Art mit entgegengesetzten Zeichen versehen werden. Die gesuchte Elektricitätsmenge der Standkugel wird, wenn man $a 4 l^2 n$ constant $= A$ setzt, gefunden

$$q = \frac{A}{Q} T \sin. \frac{r}{2} \operatorname{tang.} \frac{r}{2} \quad . \; . \; . \; . \quad (\mathrm{I.})$$

nach welcher Formel alle elektrometrischen Bestimmungen ausgeführt werden. Ueber die Vorzeichen der einzelnen Gröſsen ist Folgendes zu merken. Q und r (Elektricitätsmenge und Elongation des Balkens) erhalten stets das positive Zeichen, wenn daher die gesuchte Elektricitätsmenge q mit der Elektricität des Balkens ungleichnamig ist, so wird der Ausdruck derselben negativ. T der Torsionswinkel ist im Allgemeinen die algebraische Summe von 2 Winkeln, von r und der Drehung des Torsionskreises, die nach zwei Richtungen stattfinden kann. Da r stets positiv ist, so wird diejenige Drehung des Torsionskreises als positiv genommen, bei welcher die durch r hervorgebrachte Torsion des Drathes vermehrt wird, oder: *eine Drehung ist positiv, wenn sie den Wagebalken der Standkugel nähert.* Eine Drehung in entgegengesetzter Richtung ist negativ zu nehmen, und kann so groſs werden, daſs der ganze Torsionswinkel T das negative Zeichen erhält. Es leuchtet ein, daſs dieser Fall nur dann eintritt, wenn die beiden Kugeln Elektricität entgegengesetzter Art besitzen.

Man hat überall das Verhältniſs zweier gegebenen Elek- 88
tricitätsmengen zu bestimmen, das sich nach §. 87 leicht finden läſst. Die Kugel des Wagebalkens wird beliebig elektrisirt; wo es angeht, mit Elektricität derselben Art, wie die zu messende, da die Messung entgegengesetzter Elektricitäten in der Wage eigenthümliche Schwierigkeiten erzeugt (§. 83.). Alsdann wird die Prüfungskugel, successiv mit den Elektricitätsmengen q und q' versehen, in die Wage gesetzt, und jedes-

Digitized by Google

[88] mal Elongation und Torsionswinkel beobachtet. Man erhält hierdurch zwei bestimmte Werthe der Grundformel mit constantem Q, die durch einander dividirt, das gesuchte Verhältnifs $\frac{q}{q'}$ liefern. Die Beobachtung selbst läfst sich in verschiedener Art ausführen, wonach die Grundformel einige leichte Aenderungen erhält. Ich führe diese Messungsarten sogleich auf, um bei den Anwendungen hieher zurückweisen zu können.

Messung bei constanter Elongation. Der Torsionswinkel wird erst dann abgelesen, wenn der Wagebalken die bestimmte Elongation r hat. Hier ist in der Formel nur T veränderlich, und man hat $Qq = A_{,}T$, oder wenn t den am Torsionskreise gemessenen Winkel bedeutet, dem man das passende Vorzeichen gegeben hat (§. 87.)

$$Qq = A_{,}(r + t) \quad \ldots\ldots (1.)$$

Es ist hier wie überall, wo es nicht anders gesagt ist, angenommen, dafs in der unelektrisirten Wage der Torsionswinkel Null der Elongation Null entspricht. Man kann indefs durch Verrückung des Nullpunktes am Torsionskreise (§. 61.) bei der Torsion 0 die Elongation r erhalten und hat dann einfach

$$Qq = A_{,}t \quad \ldots\ldots\ldots (2.)$$

Die Elektricitätsmenge der Standkugel proportional dem am Torsionskreise abgelesenen Winkel.

Dies ist die bequemste, die gröfste Schärfe zulassende, Art der Messung. Sie macht die untere Theilung an der Wage überflüssig, und verlangt nur einen an der Aufsenseite des Glascylinders ausgespannten Faden, auf den die an dem Wagebalken angebrachte verticale Glimmerscheibe scharf eingestellt werden kann. Bei dem Torsionselektroskop wird diese Messungsart ausschliefslich angewendet.

89 Messung bei veränderlicher Elongation. Hierzu mufs man zuvörderst den Werth der unteren Theilung der Torsionswage sorgfältig prüfen. Der Drehpunkt des Balkens wird möglichst in den Mittelpunkt der Theilung gestellt, und der Balken durch Torsion im Kreise herum geführt, wobei die Elongationen nach den Torsionswinkeln zu corrigiren sind.

Digitized by Google

Zur Messung der Elektricitätsmengen dient die vollständige [89]
Grundformel:

$$Qq = A_1(r+t)\sin.\frac{r}{2}\,\text{tang.}\frac{r}{2} \quad \ldots\ (3.)$$

Benutzt man den Torsionskreis nicht, so fällt t fort, was indefs, da Qq dann nicht negativ werden kann, nur bei gleichartiger Elektrisirung beider Kugeln möglich ist. Auch bei dieser Messung ist es bequem (zur Einführung der Standkugel in die Wage) den Index des Torsionskreises auf Null zu stellen bei einer constanten Elongation e des Balkens. Dadurch werden alle Torsionen um e verringert, so dafs also zwischen die Klammern der Formel $(r+t-e)$ zu setzen ist, oder $(r-e)$ wenn man den Torsionskreis nicht benutzen will.

Bei allen diesen Messungen ist vorausgesetzt, dafs die Elektricitätsmenge Q der Kugel des Wagebalkens während der beiden mit einander verglichenen Bestimmungen unverändert geblieben sei, da nur so das Verhältnifs $\frac{q}{q'}$ gefunden wird (§. 88). Diese Voraussetzung ist aber in aller Strenge nicht richtig, und es sind Correctionsformeln nöthig, um die beiden Bestimmungen auf denselben Zeitpunkt zu reduciren, mit welchen wir uns im nächsten Kapitel beschäftigen werden. Ein anderer Fall ist es, wenn zwei sehr entfernt liegende Messungen mit einander verglichen werden sollen, bei welchen der Wagebalken verschieden elektrisirt wurde. Alsdann mufs man die Werthe von Q für beide Elektrisirungen bestimmen und in die Formel I. (§. 87.) einsetzen. Zu dieser Bestimmung dient die folgende Methode.

Messung der Elektricitätsmenge des Wagebal- 90
kens. Die Elektricitätsmengen auf zwei Kugeln, die in Berührung mit einander elektrisirt wurden, haben ein constantes Verhältnifs. Elektrisirt man daher die Kugel des Wagebalkens zu verschiedenen Zeiten durch Berührung mit derselben Prüfungskugel, und mifst dann die Abstofsung beider Kugeln, so kann man in (I.) (§. 87.) q mit Qb vertauschen und erhält daraus

$$Q = \sqrt{\frac{A}{b}T\sin.\frac{r}{2}\,\text{tang.}\frac{r}{2}} \quad \ldots\ (4.)$$

Digitized by Google

[90] oder, wenn man mit constanter Elongation beobachtet

$$Q = \sqrt{\frac{A}{b}(r+t)}$$

Diesen Werth nimmt man für die verschiedenen Zeitpunkte, an welchen man Messungen mit einander zu vergleichen wünscht, setzt ihn in die Formel (I.) für Q und benutzt diese Formel, wie früher, zur Bestimmung beliebiger Elektricitätsmengen q einer Prüfungskugel. Auf einfachere, aber nicht immer scharfe Weise lassen sich Messungen zu verschiedenen Zeiten mit einander vergleichen, wenn man die Formel (4.) allein anwendet. Diese gilt nämlich, wie man sogleich sieht, auch für q, die Elektricitätsmenge der Standkugel. Man bringt also ohne Weiteres die mit der zu bestimmenden Elektricitätsmenge versehene Standkugel in Berührung mit der nicht elektrisirten Kugel des Wagebalkens, und berechnet nach der Beobachtung der Abstofsung die Menge q. Hier ist aber die Elektrisirung des Wagebalkens abhängig von der zu bestimmenden Elektricitätsmenge, und daher häufig nicht grofs genug, um eine scharfe Messung zu erlauben; zugleich ist man zu einer Zeit auf eine einzelne Messung beschränkt, da es sehr schwer ist, kurze Zeit nach der Elektrisirung den Wagebalken wieder unelektrisch zu erhalten.

Digitized by Google

Drittes Kapitel.

Veränderung der Elektricitätsmenge mit der Zeit.

Die Elektricität eines elektrisirten Körpers, der durch iso- 91
lirende Stoffe getragen oder gestützt wird, nimmt ohne äufseres Zuthun nach einiger Zeit merklich ab, und verschwindet zuletzt völlig. Man hat sich überzeugt, dafs dieser Elektricitätsverlust theils von der Berührung des Körpers mit der Luft herrührt, durch welche die Elektricität in die Luft zerstreut wird, theils von der geringen Leitung, welche an der Oberfläche auch des besten Isolators stattfindet, und die Elektricität zur Erde abführt. Der Einfluſs dieser beiden Ursachen der Zerstreuung der Elektricität ist einzeln untersucht worden.

Zerstreuung der Elektricität in die Luft.

Coulomb[1]) wählte zum Wagebalken seiner Torsions- 92
wage einen mit Siegellack überzogenen Seidenfaden, der durch einen 18 bis 20 Linien langen Schellackfaden verlängert war; die daran befestigte Markkugel hatte einen Durchmesser von 4 bis 5 Linien. Eine gleiche Kugel an dem Ende eines gleichfalls aus Siegellack und Schellack zusammengesetzten dünnen Stieles befestigt, bildete die Standkugel der Wage. Nachdem beide Kugeln in Berührung elektrisirt waren, wurde die Kraft, mit der sie einander abstiefsen, durch Torsion gemessen, und nach Verlauf von 3 Minuten aufs Neue gemessen. Hierdurch war die Abnahme der Abstofsung während 3 Minuten gegeben. Die Standkugel wurde hierauf statt an einem Stiele, an vier Stielen befestigt, und die Abnahme der Abstofsung der Kugeln während 3 Minuten aufs Neue ermittelt. Da sich diese Ab-

[1]) *Mém. de l'Acad. de Paris.* 1785. *p.* 616

Digitized by Google

[92] nahme der früher gefundenen ganz gleich ergab, so konnte sie nur durch die Luft hervorgebracht sein, und die Träger der Kugeln konnten keinen merklichen Einfluſs auf jene Abnahme ausgeübt haben. Nachdem sich Coulomb in dieser Weise von der genügenden Isolation der Kugel überzeugt hatte, bestimmte er die Abnahme ihrer Abstoſsung an verschiedenen Tagen, und fand sie verschieden nach der Temperatur und der Feuchtigkeit der Atmosphäre. Um diese einzelnen Versuche, die begreiflich nicht mit denselben Elektricitätsmengen und in demselben Zeitintervall angestellt werden konnten, mit einander vergleichbar zu machen, müssen sie einer Rechnung unterworfen werden.

93 Die Zerstreuung der Elektricität eines Körpers in die Luft ist so zu denken, daſs die Luftschicht, welche die Oberfläche des Körpers unmittelbar berührt, von dieser durch Mittheilung elektrisirt wird, und dann abgestoſsen einer neuen Luftschicht Platz macht. Die Mittheilung von Elektricität geschieht im Verhältnisse zu der ganzen Elektricitätsmenge, die der mittheilende Körper besitzt; zugleich ist es klar, daſs die Menge der mitgetheilten Elektricität desto gröſser ist, je öfter sich die Luftschicht am Körper erneuen kann. Nimmt man daher ein so kurzes Zeitintervall, daſs die Elektricitätsmenge des Körpers während desselben als unverändert betrachtet werden kann, so wird der Elektricitätsverlust proportional sein dem Producte der Elektricitätsmenge in die Zeitdauer.

Es sei Q die Elektricitätsmenge des Körpers an irgend einem Zeitpunkte, dQ der Zuwachs dieser Menge in dem folgenden Zeittheilchen dz und $\frac{1}{2p}$ eine Constante, so hat man hiernach

$$-dQ = \frac{1}{2p} Q\, dz$$

Hiervon ist das vollständige Integral

$$-\log.\text{nat.}\, Q = \frac{z}{2p} + C$$

Der Werth Q hängt von der Zeit ab, die seit einem beliebigen Anfangspunkte verstrichen ist, bezeichnet man ihn für $z = o$ mit Q_o, für $z = z$ mit Q_z, so erhält man die Formel

$$\log.\text{nat.}\, Q_o = \log.\text{nat.}\, Q_z - \frac{z}{2p} \quad \ldots \text{ I.}$$

Digitized by Google

oder, wenn man sich der briggischen Logarithmen bedienen [93]
will

$$\log. Q_z = \log. Q_o - 0{,}4343 \frac{z}{2p}$$

Nach dieser Formel ist Q_z aus Q_o, oder umgekehrt, zu 94
berechnen, wenn man den Werth der Constanten p kennt, und dieser kann aus zwei Elektricitätsmengen gefunden werden, die z Minuten nach einander beobachtet wurden. Es werden zur Bestimmung von p am bequemsten Versuche an der Torsionswage mit zwei gleich grofsen Kugeln angestellt, die in Berührung mit einander elektrisirt worden sind. Man beobachtet hier unmittelbar Q_z^2 und Q_o^2 und kann diese Gröfsen selbst in die Rechnung einführen. Da nämlich die beiden Kugeln der Wage sich unter ganz gleichen Verhältnissen befinden, so mufs die Zerstreuung der Elektricität an beiden dieselbe sein. Die Formel I. §. 93 gilt für jede Kugel mit gleichem Werthe von p, und man erhält unmittelbar eine Relation zwischen den beobachteten Repulsionen der Kugeln und p, indem man jene Formel mit 2 multiplicirt

$$\log. Q_z^2 = \log. Q_o^2 - 0{,}4343 \frac{z}{p} \text{ und}$$

$$p = \frac{0{,}4343 z}{\log. Q_o^2 - \log. Q_z^2} \quad \ldots\ldots \text{ II.}$$

Man pflegt die Gröfse $\frac{1}{p}$, welche die Abnahme der Abstofsung zweier Kugeln in der Zeiteinheit mifst, den *Zerstreuungscoefficienten* zu nennen, wobei zu merken ist, dafs die Abnahme der Elektricitätsmenge einer Kugel durch die Hälfte des Coefficienten, $\left(\frac{1}{2p}\right)$, gemessen wird. (§. 93.)

Ein einfaches Beispiel der Berechnung von $\frac{1}{p}$ giebt der 95
folgende Versuch. Coulomb elektrisirte die Kugeln der Torsionswage in Berührung mit einander, und drehte den Torsionskreis 140° der Bewegung des Balkens entgegen. Als der Balken bei der Elongation 20° in Ruhe war, wurde die Zeit an einer Uhr bemerkt. Der Torsionskreis wurde darauf bis 110° zurückgedreht, und wiederum der Zeitpunkt bemerkt, wo der Balken bei 20° zur Ruhe kam. Es waren 3 Minuten

Digitized by Google

[95] seit der ersten Beobachtung verflossen. Um aus diesen Torsionen Q^2 zu berechnen, wendet man die zweite Formel §. 90 an. Es ist dort

$$Q^2 = \frac{A}{b}(r + t)$$

wo r die Elongation des Balkens, t den Winkel des Torsionskreises bedeutet. Dieser Werth in II. §. 94 eingesetzt, giebt

$$p = \frac{0{,}4343\,z}{\log.(r + t_o) - \log.(r + t_z)}$$

wo t_o und t_z die den Zeiten o und z entsprechenden Torsionen bezeichnen. Nach dem mitgetheilten Versuche ist

$$r = 20 \quad t_o = 140 \quad t_z = 110 \quad z = 3$$

Daher

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{14{,}44}$$

96 Die Formel §. 94 ist von beschwerlicher Anwendung; es läfst sich aus ihr eine Näherungsformel ableiten, die leicht zu berechnen und in den meisten vorkommenden Fällen von ausreichender Genauigkeit ist. Um bei der Anwendung eine Wiederholung zu vermeiden, wollen wir den bestimmten Fall der Messung annehmen, wo die Elektricitätsmengen durch Abstofsung der Kugeln der Torsionswage bei constanter Elongation des Balkens gemessen werden. Es ist sodann (§. 88.) statt Q^2 einfach die Torsion t zu setzen, die entweder allein durch den Winkel des Torsionskreises, oder, wenn der Index desselben bei der anfänglichen Elongation nicht auf 0 stand, durch die Summe jenes Winkels und einer constanten Gröfse gegeben wird. Setzt man in die Formel II. §. 94 natürliche Logarithmen, und geht von diesen zu den Zahlen über, so kommt, wenn e die Basis der natürlichen Logarithmen bedeutet

$$t_o = t_z\, e^{\frac{z}{p}}$$

Es werde $\frac{z}{p} = x$ gesetzt und e^x nach x entwickelt

$$t_o = t_z + t_z\left(x + \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{6} + \frac{x^4}{24} + \ldots.\right)$$

Statt der in Klammern eingeschlossenen Reihe kann, wenn x klein ist, die folgende gesetzt werden

$$x + \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{4} + \frac{x^4}{8} + \ldots.$$

Digitized by Google

da die Differenz beider Reihen oder [96]

$$\frac{x^3}{12} + \frac{x^4}{12} + \ldots \left(\frac{1}{2^{n-1}} - \frac{1}{1.2\ldots n}\right) x^n$$

dann vernachlässigt werden darf. Die Summe der substituirten Reihe ist $x\left(\frac{1}{1-\frac{x}{2}}\right)$ und diese, in die Formel eingesetzt, giebt den einfachen Ausdruck

$$t_n = t_n + \frac{t_n}{\frac{1}{x} - 0{,}5} \quad \ldots \ldots \quad 1.$$

wo $\frac{1}{x} = \frac{p}{z}$. Um p hieraus zu finden, beobachtet man zwei durch dieselbe Elektricitätsmenge erzeugte Torsionen t_n und $t_{n'}$, die z' Minuten auseinander liegen. Diese Werthe in 1. eingesetzt, geben, wenn man p entwickelt

$$p = \frac{z'(t_n + t_{n'})}{2.(t_n - t_{n'})} \text{ oder}$$

wenn $t_n - t_{n'} = d$ gesetzt wird

$$p = z' \frac{t_n - \frac{1}{2}d}{d} \quad \ldots \ldots \quad 2.$$

In dem angeführten Versuche Coulomb's sind die Torsionen durch die um 20° vermehrten Torsionswinkel gegeben, es ist daher

$$t_n = 160$$
$$t_{n'} = 130$$
$$z' = 3$$

und $p = \frac{3.145}{30}$ $\frac{1}{p} = \frac{1}{14{,}5}$ mit dem Resultate der strengen Rechnung (§. 95.) fast genau übereinstimmend. Auf diese einfache Weise sind die später mitzutheilenden Zerstreuungscoefficienten aus Coulomb's Versuchen berechnet worden.

Bisher ist der Zerstreuungscoefficient durch Versuche mit 97
zwei leitenden Kugeln bestimmt worden, die gleich an Gröfse und mit gleicher Elektricitätsmenge versehen waren. Es ist nun zu untersuchen, ob der Coefficient eine Aenderung erfährt, wenn die Kugeln verschiedener Gröfse oder ungleicher Beschaffenheit sind, wenn sie mit ungleicher Elektricitätsmenge geladen werden, oder wenn die eine Elektricitätsart mit der entgegengesetzten vertauscht wird. Die Prüfung des Coeffi-

Digitized by Google

[97] cienten bei verschiedener Elektricitätsmenge und Gröfse der Kugeln wird so geschehen. Es sei bei gleicher Elektricitätsmenge und Gröfse der Kugeln ein Werth von p gefunden, so gilt für jede der beiden Kugeln die Gleichung

$$\log. Q_{\cdot} = \log. Q_{\cdot} - 0{,}4343 \frac{z}{2p}$$

Wird nun die eine Kugel der Wage mit einer anderen von verschiedener Gröfse oder Beschaffenheit vertauscht, und dieser die Elektricitätsmenge q gegeben, so hat man unter der Annahme, dafs p denselben Werth, wie früher, behalte

$$\log. q_{\cdot} = \log. q_{\cdot} - 0{,}4343 \frac{z}{2p}$$

und durch Addition

$$\log. Q_{\cdot} q_{\cdot} = \log. Q_{\cdot} q_{\cdot} - 0{,}4343 \frac{z}{p} \quad \ldots \quad \text{III.}$$

Bezeichnet Q die Elektricitätsmenge der schwebenden, q die der festen Kugel der Torsionswage, so giebt Qq die Kraft ihrer gegenseitigen Abstofsung an, und die Gleichung III. bestimmt die Abnahme dieser Abstofsung durch die Zerstreuung. Es ist zu untersuchen, ob der Werth von p dem mit zwei gleichen Kugeln erhaltenen gleich ist.

98 Coulomb bestimmte an einem Tage den Zerstreuungscoefficienten an zwei gleichen in Berührung elektrisirten Kugeln auf $\frac{1}{41}$, ersetzte sodann die Standkugel durch eine andere von doppeltem Durchmesser, und gab dieser bald eine gröfsere bald eine kleinere Elektricitätsmenge als die war, welche die Kugel des Wagebalkens besafs. Der Zerstreuungscoefficient für diese Kugeln zeigte sich genau dem frühern gleich. Aber auch von der Form des Körpers, auf dem die Elektricität sich befand, blieb der Coefficient unabhängig. Es wurde der Elektricitätsverlust an einer Kugel von 1 Fufs Durchmesser bestimmt, an Cylindern von verschiedener Länge und Dicke, es wurden die Kugeln der Torsionswage durch Scheiben von Metall oder Papier ersetzt, es wurde sogar eine der Kugeln mit einem Kupferstifte von 10 Linien Länge, $\frac{1}{4}$ Linie Dicke versehen, und dennoch blieb der Coefficient, der die Elektricitätszerstreuung in die Luft mafs, bei diesen Körpern constant. Selbst die leitende Eigenschaft des elektrisirten Körpers

Digitized by Google

zeigte keinen Einfluſs auf den Zerstreuungscoefficienten. An [98]
einer Hollundermarkkugel wie an einer Siegellackkugel wurde
der Coefficient zu derselben Zeit gleich gefunden.

Daſs der Zerstreuungscoefficient, der für eine Elektrici- 99
tätsart gefunden ist, auch für die andere Elektricitätsart gilt,
ist von Biot[1]) durch folgende Versuche ausgemacht worden.

An dem Wagebalken der Torsionswage wurde eine Scheibe
aus Goldpapier von $13\frac{1}{4}$ Linien Durchmesser angebracht, und
eine Standkugel von gleichem Durchmesser genommen. Kugel
und Scheibe wurden gemeinschaftlich elektrisirt, und ihre Ab-
stoſsungen in genau bestimmten Epochen beobachtet, ohne
daſs der Torsionskreis gedreht wurde. Folgende sind die
Beobachtungen mit positiver und negativer Elektricität, in
welchen die Abstoſsungen, an einer ungewöhnlichen Kreisein-
theilung abgelesen, auf Grade reducirt sind.

	Epoche.	Elongation.
negative Elektricität	10^h 41′	68°,85
	59	63 ,45
	12^h 25	34 ,65
positive Elektricität	1^h 7	61 ,20
	25	56 ,25
	2^h 25	35 ,55

Zur Berechnung von p aus diesen Beobachtungen dient
Formel II. (§. 94.)

$$p = \frac{0{,}4343\,z}{\log.Q^2 - \log.Q^1}$$

Die Abstoſsungen Q^2 sind nach der Formel (4.) §. 90
zu berechnen, in welcher der Torsionswinkel $t = o$ zu setzen ist.

$$Q^2 = \frac{A}{b}\, r \sin.\frac{r}{2} \tang.\frac{r}{2}$$

Benutzt man der gröſsern Genauigkeit wegen die ent-
ferntesten Beobachtungen jeder Reihe, so hat man für negative
Elektricität, wenn man den Factor $\frac{A}{b}$, als beiden Logarithmen
gemeinschaftlich, fortläſst:

[1]) *Traité de phys.* 2.256.

Digitized by Google

[99] Epoche $10^h\ 41'$ $\log. Q_z^2 = 1{,}42589$
$12\ \ 25$ $\log. Q_z^2 = 0{,}50726$
$z = 104$ Minuten

und hieraus $\frac{1}{p} = 0{,}02034$ für negative Elektricität.

Bei Anwendung der positiven Elektricität hat man

Epoche $1^h\ \ 7'$ $\log. Q_z^2 = 1{,}26538$
$2\ \ 25$ $\log. Q_z^2 = 0{,}54106$
$z = 78$ Minuten

hieraus $\frac{1}{p} = 0{,}02138$ für positive Elektricität.

Diese beiden Werthe des Zerstreuungscoefficienten weichen nur wenig von einander ab; der vorhandene Unterschied kann durch den Umstand erklärt werden, dafs die Versuche mit beiden Elektricitäten kurz hinter einander in derselben Torsionswage angestellt waren. In Luft, die negativ elektrisirte Körper berührt hatte, mufste ein positiv elektrisirter Körper seine Elektricität schneller als sonst verlieren, so dafs der etwas gröfsere Werth von $\frac{1}{p}$ für positive Elektricität nicht auffallen kann. Nach §§. 98 und 99 gilt also der an zwei gleichen elektrisirten Kugeln gefundene Zerstreuungscoefficient auch für andere Körper von beliebiger Form und Elektrisirung.

Veränderlichkeit des Zerstreuungscoefficienten.

100 Die folgende Tabelle enthält die Bestimmungen des Zerstreuungscoefficienten, welche Coulomb an vier verschiedenen Tagen angestellt hat. Die Kugeln der Torsionswage wurden gemeinschaftlich elektrisirt; die Drehung des Torsionskreises wurde von Zeit zu Zeit verändert und der Moment aufgezeichnet, an welchem der Balken eine bestimmte Elongation besafs. Die Rechnung ist nach der Näherungsformel §. 96 ausgeführt. Bezeichnet man mit r die constante Elongation, mit t_1 und t_2 die beiden am Torsionskreise abgelesenen Winkel, mit z die indessen verflossene Zeit, so erhält man den Zerstreuungscoefficienten

$$\frac{1}{p} = \frac{2(t_1 - t_2)}{z(2r + t_1 + t_2)}$$

Digitized by Google

Bestimmungen des Zerstreuungscoefficienten. [100]

Tag. Meteorol. Instrumente.	Zeitpunkt.	Elongation r	Torsionswinkel t	Zerstreuungscoeffic. $\frac{1}{p}$
Mai 28. Morgen.	6h 32′ 30″	30°	120	
	38 15		100	$\frac{1}{40}$
Barometer 28 Zoll 3 Linien	44 30		80	$\frac{1}{38}$
Thermometer 15½° R.	53		60	$\frac{1}{42}$
Hygrometer (Haar) 75°	7h 3		40	$\frac{1}{46}$
	17		20	$\frac{1}{43}$
Mai 29. Morgen.	5h 45′ 30″	30	130	
	53		110	$\frac{1}{58}$
Barometer 28 Zoll 4 Linien	6 2 30		90	$\frac{1}{61}$
Thermometer 15½°	12 15		70	$\frac{1}{54}$
Hygrometer 69°	33 30		40	$\frac{1}{56}$
	51		20	$\frac{1}{54}$
Juni 22. Morgen.	11h 53′ 45″	20	80	
	56 45		60	$\frac{1}{13,3}$
Barometer 27 Zoll 11 Linien	59 45		40	$\frac{1}{11}$
Thermometer 15¾°	12 5		20	$\frac{1}{13}$
Hygrometer 87°	16 15		− 5	$\frac{1}{12,3}$
Juli 2. Morgen.	7h 43′ 40″	20	80	
	49		60	$\frac{1}{24}$
Barometer 28 Zoll 2 Linien	57 20		40	$\frac{1}{29}$
Thermometer 15¾°	8 9 15		20	$\frac{1}{30}$
Hygrometer 80°	17 30		10	$\frac{1}{29}$

Zur Berechnung des Zerstreuungscoefficienten nach der strengen Formel (§. 94.) würde man die entferntesten Beobachtungen jedes Tages benutzen und alsdann erhalten:

Mai 28. $\frac{1}{p} = \frac{1}{40,5}$ Juni 22. $\frac{1}{p} = \frac{1}{11,9}$

29. $= \frac{1}{56,3}$ Juli 2. $= \frac{1}{27,8}$

Digitized by Google

[100] Diese Werthe weichen wenig von den mittleren Werthen ab, die aus den in der Tabelle aufgeführten genäherten Bestimmungen des Zerstreuungscoefficienten gezogen werden.

101 Man sieht, dafs der Zerstreuungscoefficient an demselben Tage während einer geraumen Zeit constant bleibt, aber von einem Tage zum andern sehr bedeutend (in der Tabelle vom 1- bis 5fachen) variirt. Die Ursache dieser Aenderung ist in verschiedenen Umständen zu suchen. Zuvörderst nimmt der Coefficient sichtlich mit der Menge des Wassergases zu, das in der Luft enthalten ist. Um diesen Einfluſs zu zeigen, hatte Coulomb seine Versuche an Tagen angestellt, wo die Lufttemperatur beinahe dieselbe war. Unter dieser Bedingung nämlich zeigen höhere Grade des Saussure'schen Haar-Hygrometers gröſsere Mengen von Wassergas in der Luft an, und wirklich sieht man den Zerstreuungscoefficienten mit den Graden des Hygrometers zunehmen. Aber der Zerstreuungscoefficient hängt nicht allein von der absoluten Menge des Wassergases ab. Ein Luftvolumen von bestimmter Temperatur kann nur eine bestimmte Menge Wassergas enthalten und keine gröſsere, und diese gröſste Menge ist desto bedeutender, je höher die Lufttemperatur ist. Luft von bestimmter Temperatur, welche gerade diese gröſste Menge Wassergas besitzt, nennt man gesättigt. Man sieht daher dafs Luft, die durch ein bestimmtes Quantum Wassergas gesättigt ist, nicht mehr gesättigt bleibt, wenn man ihre Temperatur erhöht. Die Erfahrung hat nun gezeigt, dafs der Zerstreuungscoefficient für einen elektrisirten Körper desto gröſser ausfällt, je mehr der Feuchtigkeitszustand der den Körper umgebenden Luft sich dem Sättigungszustande nähert; jener Coefficient hängt daher von der absoluten Menge des Wassergases ab, das die Luft enthält, und von dem Verhältnisse dieser Menge zu der gröſsten Menge, die sie bei ihrer Temperatur enthalten kann.

102 Die Beziehung des Sättigungszustandes der Luft zu der Zerstreuung der Elektricität scheint eine zwiefache Ursache zu haben. Zuerst nämlich sind alle Körper hygroskopisch, das heifst ihre Oberfläche übt eine gewisse Anziehung auf das Wassergas der Luft aus und condensirt dasselbe, und zwar in desto gröſserer Menge, je näher die Luft ihrem Sättigungs-

Digitized by Google

zustande ist. Auch die Stützen des elektrisirten Körpers, sie [102]
mögen noch so sorgfältig gewählt sein, besitzen diese Eigenschaft, und bedecken sich, je nach dem Zustande der Luft, mit einer gröfsern oder geringern Schicht condensirten Gases. Diese Stützen werden daher die Elektricität um desto weniger isoliren, je näher die Luft dem Sättigungszustande ist, und hierdurch eine Vergröfserung des Zerstreuungscoefficienten herbeiführen. Zweitens aber scheint es, dafs die Luft selbst desto besser leitend wird, je näher ihr Wassergehalt dem Gränzwerthe steht, den er erreichen kann; warme Luft wird also die Elektricität besser isoliren müssen, als kalte, wenn jede eine gleiche Menge Wassergas besitzt. Hierüber fehlen entscheidende Versuche. Wird der Zerstreuungscoefficient unzweifelhaft durch den Feuchtigkeitszustand (§. 101.) der Luft bestimmt, so bleiben auf ihn wahrscheinlich die Temperatur der in der Luft vorhandenen Wassertheile, der Stand des Barometers und die der Luft zufällig beigemischten Gasarten nicht ohne Einfluſs. In der That findet man zuweilen die Zerstreuung der Elektricität in entgegengesetzter Weise verändert, als man nach dem hygrometrischen Zustande der Luft erwarten konnte, und es ist bis jetzt keine Hoffnung vorhanden, ihre Abhängigkeit in allen Verwickelungen klar zu überschen, um danach, wie man anfangs glaubte, die elektrische Zerstreuung zur Beurtheilung des Zustandes der Luft benutzen zu können. Für practische Zwecke genügt die Angabe, dafs der Zerstreuungscoefficient in Luft, die nur wenig Wassergas enthält, und entfernt von ihrem Sättigungszustande ist, jedenfalls so gering ist, dafs länger dauernde und, nach Anbringung der Correction, genaue elektrometrische Versuche in ihr angestellt werden können. In unserem Klima eignet sich daher zu solchen Versuchen das geheizte Zimmer an kalten Wintertagen am besten.

Elektricitätsverlust durch isolirende Stützen.

Untersucht man einen dünnen Glas- oder Schellackstab, 103
der eine elektrisirte Kugel trägt, mit Hülfe einer kleinen isolirten Scheibe, so findet man ihn an vielen Stellen elektrisch, und zwar mit der Kugel gleichartig elektrisch. Die Menge

Digitized by Google

[103] von Elektricität, welche die Scheibe an den berührten Stellen des Stabes aufnimmt, ist nicht überall gleich, sie ist desto geringer, je mehr man sich von der elektrisirten Kugel entfernt. Bei gehöriger Länge des Stabes findet man stets eine Entfernung, von welcher an, auch mit den empfindlichsten Prüfungsmitteln, keine Elektricität auf dem Stabe merklich ist. Je besser die Oberfläche des Stabes die Elektricität leitet, desto weiter liegt jener Grenzpunkt, der den elektrischen Theil des Stabes von dem unelektrischen scheidet, von der elektrisirten Kugel entfernt. Aber auch für einen und denselben Stab ist diese Entfernung nicht constant, sie nimmt zu mit der Elektricitätsmenge der Kugel, die durch den Stab isolirt wird. In der Figur 32 sei C die elektrisirte Kugel, AG die Axe des sie isolirenden Stabes; durch die Ordinaten seien die an den entsprechenden Punkten des Stabes gefundenen Elektricitätsmengen dargestellt. D bezeichnet den Punkt, an dem die Ordinate 0 ist, und DG daher das unelektrische Stück des Stabes. An dem die Kugel berührenden Punkte A ist die Elektricitätsmenge ebenso grofs, wie an irgend einem Punkte der elektrisirten Kugel, die Ordinate A ist daher proportional der Elektricitätsmenge, welche die Kugel C besitzt. Die Länge AD, innerhalb welcher der Stab elektrisch ist, verändert sich in gleichem Sinne mit dem Leitungsvermögen der Oberfläche des Stabes und mit der Länge der ersten Ordinate A. Coulomb hat nach Versuchen, von welchen sogleich die Rede sein wird, diese Abhängigkeit durch den Ausdruck dargestellt

$$x = BE^2$$

worin x die Länge AD, E die Elektricitätsmenge jedes Punktes der Kugel (oder die erste Ordinate A) und B eine Constante bedeutet, die mit dem Leitungsvermögen der Oberfläche des Stabes zunimmt.

104 Der Elektricitätsverlust eines elektrisirten Körpers durch eine ihn isolirende Stütze hängt von der Länge x ab, in welcher diese Stütze elektrisch geworden ist. Man denke sich die Stütze in der Figur nur von der Länge AF, bei F also mit einem leitenden Körper in Berührung. Der Punkt F ist elektrisch, wie in der Figur ersichtlich ist, aber er giebt seine Elektricität augenblicklich an den leitenden Körper ab, und

Digitized by Google

empfängt Elektricität von dem ihm zunächst liegenden Punkte [104]
des Stabes. In dieser Weise entsteht ein Abfluſs von Elektricität längs dem Stabe, durch den die Kugel bald unelektrisch, und die erste Ordinate Null werden würde. So lange währt aber der elektrische Abfluſs nicht fort. Da nämlich nach dem obigen Ausdrucke mit Abnahme der ersten Ordinate der Punkt *D* gegen die Kugel rückt, und der Stab aus isolirendem Stoffe, die Constante *B* also sehr klein angenommen ist, so wird, ehe die Kugel ihre ganze Elektricitätsmenge verloren hat, *D* stets über *F* hinausrücken. Ist dies geschehen, ist *D* also bis *D'* gerückt, so hört der Elektricitätsverlust durch den Stab gänzlich auf, und nur der Verlust durch die Luft wird fortdauern. Es folgt hieraus, daſs eine jede Stütze einen elektrisirten Körper nur zu isoliren vermag, wenn die Elektricitätsmenge, die auf jedem Flächenelemente des Körpers angehäuft ist, oder wie wir es genannt haben, die elektrische Dichtigkeit des Körpers, eine gewisse Gränze nicht überschreitet. Um diese Gränze zu finden, hat man den Körper so stark zu elektrisiren, daſs sein Elektricitätsverlust gröſser ist, als es nach dem (früher ermittelten) Zerstreuungscoefficienten sein sollte, und ihn eine längere Zeit zu beobachten. Wenn der durch die Luft allein hervorgebrachte Verlust hervortritt, berechnet man die Elektricitätsmenge des Körpers, und hat hiernach die elektrische Dichtigkeit, welche die angewandte Stütze noch zu isoliren vermag. Je gröſser das Isolationsvermögen einer Stütze ist, eine desto gröſsere elektrische Dichtigkeit wird sie zu isoliren vermögen, so daſs jener Versuch ein Mittel abgiebt, verschiedene Stützen mit einander zu vergleichen, die in Stoff oder Dimensionen von einander verschieden sind.

Die folgenden Versuche Coulombs[1]) geben ein Beispiel 105
dieser Untersuchungsweise. Es wurde die Torsionswage gebraucht, die zur Untersuchung der Zerstreuung durch die Luft gedient hatte (§. 92.) nur war die Standkugel nicht an dem Schellackstiele befestigt, sondern an einem Coconfaden von 15 Zoll Länge aufgehängt. Die Kugeln wurden in Berührung elektrisirt, und die Abnahme ihrer gegenseitigen Abstoſsung

[1]) *Mém. de l'Acad. Paris* 1785.* *p.* 628.

Digitized by Google

[105] wurde so lange untersucht, bis der Coefficient, der diese Abnahme bestimmt, dem früher gefundenen Zerstreuungscoefficienten gleich geworden war. Dieselbe Versuchsreihe wurde an dem folgenden Tage wiederholt. Die einzelnen Beobachtungen, und die aus ihnen, in der §. 100 angegebenen Art, berechneten Coefficienten sind in der folgenden Tabelle angegeben:

Bestimmungen des Zerstreuungscoefficienten bei unvollkommener Isolirung der Standkugel.

Tag.	Zeitpunkt.	Elongation r	Torsionswinkel t	Zerstreuungscoeff. $\frac{1}{p}$
Mai 28.	10^h 0′ 0″	30	150	
	2 30		120	$\frac{1}{14}$
	8		80	$\frac{1}{18}$
	13		60	$\frac{1}{25}$
	29 30		20	$\frac{1}{29}$
	50 30		0	$\frac{1}{47}$
	11 7		− 10	$\frac{1}{41}$
Mai 29.	7^h 34′ 0″	30	150	
	36 40		130	$\frac{1}{23}$
	41 30		110	$\frac{1}{34}$
	48 20		90	$\frac{1}{43}$
	55 45		70	$\frac{1}{41}$
	8 7 30		50	$\frac{1}{53}$
	25 0		30	$\frac{1}{61}$
	42 30		15	$\frac{1}{61}$
	9 5		1	$\frac{1}{61}$ [1])

106 Man ersieht aus dieser Tafel, dafs bei unvollkommener Isolirung der Standkugel der Zerstreuungscoefficient anfangs grofs ist, aber mehr und mehr abnimmt, und nach einiger Zeit einen constanten Werth erhält. Dieser constante Werth, am ersten Tage $\frac{1}{41}$ am zweiten $\frac{1}{61}$, ist offenbar der Zerstreuungscoefficient bei vollkommener Isolirung, und hier noch etwas

[1]) Die Coefficienten dieser und der vorigen Tafel sind neu-berechnet; die Originaltafeln enthalten 12 Schreib- und Druckfehler.

Digitized by Google

kleiner, als letzterer an denselben Tagen bei aller angewand- [106]
ten Vorsicht, die Zerstreuung nur durch die Luft zu veranlassen, gefunden wurde. Es war nämlich am 28. Mai $\frac{1}{p} = \frac{1}{40,5}$ 29. Mai $\frac{1}{56,3}$. Der Coconfaden von 15 Zoll Länge vermag also die kleine Standkugel ebenso vollkommen zu isoliren, wie die früher gebrauchte Schellackstange, *im Falle* die Kugel nur eine gewisse Elektricitätsmenge und keine gröfsere, enthält. Das verschiedene Isolationsvermögen der Stützen wird sich also nur auf die gröfste Menge von Elektricität beziehen, die eine Kugel besitzen darf, um von ihnen noch vollkommen isolirt zu werden.

Um diese Menge für den Seidenfaden nach den mitgetheilten Versuchen zu finden, hat man folgende Rechnung anzustellen. Es bezeichne Q die Elektricitätsmenge der Kugel am Wagebalken, q die Elektricitätsmenge der Kugel am Seidenfaden, so wird man das Product dieser Mengen nach der hier anwendbaren ersten elektrometrischen Formel finden (§. 88.)

$$Qq = A_{,}(t + r)$$

Es bedeutet r die Elongation des Wagebalkens, t den Torsionswinkel, $A_{,}$ hängt von der Einrichtung der Wage und der zur Einheit gewählten Elektricitätsmenge ab, und kann hier fortgelassen werden. Wir wollen, wie früher, die nach der Zeit veränderlichen Elektricitätsmengen und Torsionswinkel durch ein Zeichen unterscheiden, das die Anzahl der Minuten angiebt, die seit der ersten Beobachtung an der Wage verflossen sind. Hat man an der Constanz des Zerstreuungscoefficienten erkannt, dafs der Seidenfaden nach z Minuten die Standkugel vollkommen isolirt, so ist q_{z} die gesuchte Gröfse. Man hat nach Obigem

$$q_{z} = \frac{(t_{z} + r)}{Q_{z}} \text{ oder } \log. q_{z} = \log. (t_{z} + r) - \log. Q_{z}$$

Auf der rechten Seite ist nur Q_{z}, die Elektricitätsmenge der Kugel des Balkens nach z Minuten, unbekannt. Für diese Elektricitätsmenge haben wir aber §. 93 den Ausdruck gefunden

$$\log. Q_{z} = \log. Q_{0} - 0,4343 \frac{z}{2p}$$

worin $\frac{1}{p}$ den hier bekannten Zerstreuungscoefficienten bedeutet,

Digitized by Google

[106] und nur Q_0, die anfängliche Elektricitätsmenge der Kugel des Balkens, unbekannt ist. Diese ist durch die erste Messung an der Wage gegeben. Da nämlich die beiden Kugeln gleich grofs und in Berührung elektrisirt sind, so hat man

$$Q_0^2 = (t_0 + r) \text{ und}$$
$$\log. Q_0 = \tfrac{1}{2} \log. (t_0 + r)$$

Durch Einsetzung dieses Werthes und des obigen für $\log. Q_0$ in den Ausdruck für q_0 erhält man den gesuchten Werth

$$\log. q_0 = \log. (t_0 + r) + 0{,}4343 \frac{z}{2p} - \tfrac{1}{2} \log. (t_0 + r) \quad \ldots \text{ I.}$$

107 Für den Seidenfaden von 15 Zoll Länge geben die in der Tabelle mitgetheilten Beobachtungsreihen die folgenden numerischen Werthe zur Berechnung von q_0. In der ersten Reihe hat der aus der 5ten und 6ten Messung berechnete Zerstreuungscoefficient zuerst den constanten Werth erreicht. Man kann also annehmen, dafs zwischen beiden Beobachtungen der Seidenfaden angefangen habe, vollkommen zu isoliren. Dies würde um 10 Uhr 40 Minuten geschehen, und für diesen Moment der Torsionswinkel 10° (als Mittel der beiden beobachteten Winkel) anzunehmen sein. Man hat also

$$z = 40' \quad r = 30° \quad t_0 = 150° \quad t_0 = 10° \quad \frac{1}{p} = \frac{1}{41}$$

Hieraus Elektricitätsmenge der Kugel des Balkens $Q_0 = 8{,}237$
- - - am Seidenfaden $q_0 = 4{,}856$

im Augenblicke, wo der Seidenfaden die an ihm befestigte Kugel vollkommen zu isoliren anfing. Es ist hierbei nicht zu vergessen, dafs die Elektricitätsmengen durch ihre Wirkung gemessen werden, die sie auf eine elektrisirte Kugel ausüben, die 30° von ihnen entfernt ist, und dafs eine ganz bestimmte Torsionskraft an einem Hebelarme von bestimmter Länge das Gegengewicht bildet. Wenn eine von diesen Bedingungen geändert würde, liefsen sich die Elektricitätsmengen, die an verschiedenen Tagen von einer Stütze isolirt werden, nicht direct vergleichen, sondern müfsten erst nach der allgemeinen elektrometrischen Formel (§. 87.) reducirt werden.

In den Versuchen am 29. Mai erscheint erst der aus der 6ten und 7ten Beobachtung berechnete Coefficient constant, es ist also anzunehmen, dafs um 8 Uhr 16,15 Minuten der

Digitized by Google

Seidenfaden vollkommen zu isoliren anfing. Man hat daher [107]

$$z = 42',25 \quad r = 30° \quad t_1 = 150° \quad t_2 = 40° \quad \frac{1}{p} = \frac{1}{61}$$

und hieraus

Elektricität der Kugel am Wagebalken $Q_1 = 9{,}489$

- - - - Seidenfaden $q_1 = 7{,}377$

im Augenblicke, wo der Seidenfaden zuerst die Kugel vollkommen isolirte.

Derselbe Seidenfaden also, der den Tag zuvor die Standkugel erst vollkommen bei einer Elektricitätsmenge isolirte, die durch 4,856 ausgedrückt war, isolirte jetzt eine viel gröfsere Menge, nämlich 7,377, vollkommen. Aber die Luft war auch, wie sich aus der Hygrometeranzeige der Tabelle §. 100 ergiebt, am ersten Tage feuchter als am letzten. Hier findet sich also die Angabe §. 102 bestätigt, dafs die Oberfläche eines Isolators je nach dem Feuchtigkeitszustande der Luft ein verschiedenes Leitungsvermögen für Elektricität besitzt.

Coulomb[1]) verglich an einem Tage den Seidenfaden [108] von 15 Zoll Länge mit einem 18 Linien langen dünnen Cylinder von Schellack und fand, dafs letzterer eine dreimal gröfsere Elektricitätsmenge zu isoliren vermochte als der Faden. Dies zeigt die grofse Ueberlegenheit der Isolation durch Schellack über die durch Seide, zumal da jener Cylinder nur den 10ten Theil der Länge des Seidenfadens besafs. Die Länge der Stütze hat einen bedeutenden Einfluſs auf das Isolationsvermögen derselben, wie aus dem oben gegebenen Ausdrucke $x = BE^2$ sogleich hervorgeht. Ist hiernach nämlich die Strecke der Stützen, die durch Berührung mit der elektrisirten Kugel elektrisch geworden ist, proportional dem Quadrate der Elektricitätsmenge der Kugel, so folgt, dafs die Elektricitätsmenge auf einer Kugel, die von einer Stütze noch vollkommen isolirt wird, proportional der Quadratwurzel der Länge der Stütze ist. Coulomb hat sich experimentell davon überzeugt, dafs wenn ein Seidenfaden von 1 Fufs Länge eine Kugel vollkommen zu isoliren anfing, als die Kugel die Elektricitätsmenge 1 besafs, der Faden 4 Fufs lang sein mufste, um die Elektrici-

[1]) *Mémoires de l'Acad. de Paris* 1785.* *p.* 632.

Digitized by Google

[108] tätsmenge 2 zu isoliren. Was die Dicke der Stütze betrifft, so dürfte diese auf die gröfste zu isolirende Elektricitätsmenge keinen Einfluſs haben; eine dickere Stütze würde nur eine gegebene Elektricitätsmenge auf den ihr gestatteten gröfsten Werth in kürzerer Zeit herabbringen als eine dünnere Stütze. Die Unabhängigkeit der isolirten Elektricitätsmenge von der Dicke der Stütze ist §. 92 durch den Versuch bestätigt worden, daſs wenn eine Kugel an Einer Stütze nur den durch die Luft bewirkten Verlust zeigt, sie dies zu thun fortfährt, wenn sie von vier ähnlichen Stützen getragen wird. Direct die Prüfung an Stützen verschiedener Dicke anzustellen, ist mifslich, weil es schwer hält, diese Stützen, wie es nöthig ist, von absolut gleicher Oberflächenbeschaffenheit zu erhalten. Ueberhaupt ist die grofse Wandelbarkeit der Oberfläche der Isolatoren schuld daran, daſs die Untersuchung des Elektricitätsverlustes durch isolirende Stützen bisher nicht die wichtigen Resultate geliefert hat, zu welchen sie anfangs Hoffnung gab.

109 Versucht man eine Kugel durch Stützen von gleicher Länge aber verschiedenem Stoffe zu isoliren, so zeigt der Ausdruck $x = BE^2$, daſs die gröfste Menge Elektricität E, die auf der Kugel isolirt wird, allein abhängig ist von B, einer Gröfse, die ein Maaſs für das Leitungsvermögen des Stoffes, aus dem die Stütze besteht, abgiebt. Man kann diese gröfste Elektricitätsmenge durch die oben beschriebene Versuchsweise nach der Formel I. §. 106 leicht berechnen, und es schien daher, daſs die verschiedenen Isolatoren sich nach ihrem Leitungsvermögen mit eben der Bestimmtheit ordnen lassen würden, wie die Leiter durch die Wirkungen der in Bewegung befindlichen Elektricität. Dies ist aber nicht möglich gewesen. Während bei den Erscheinungen der bewegten Elektricität nur der Stoff des Leiters in Betracht kommt, ist bei der hier betrachteten Eigenschaft der Isolatoren, nur Elektricität von bestimmter Dichtigkeit zu isoliren, auch noch die Oberfläche des Isolators von grofsem Einflusse; und zwar wirken Verhältnisse der Oberflächen bedeutend ein, die auch dem schärfsten Auge entgehen. Es ist nicht selten, daſs man Stäbe aus demselben Glase oder Schellack, die vollkommen glänzend sind, in sehr verschiedenem Grade isolirend findet, oder daſs man das Isolationsvermögen

Digitized by Google

einer und derselben Stütze bei gleichem Zustande der Atmo- [109]
sphäre, zu- oder abnehmen sieht, ohne dafs sich eine Aenderung der isolirenden Oberfläche wahrnehmen liefse. Diese nicht sichtbare Aenderung der Oberfläche hat aber in der That stattgefunden, und ist durch Einwirkung der Luft (§. 26.) oder der Elektricität (§. 762.) herbeigeführt worden. Oberflächen, die uns als vollkommen gleichmäfsige und reine erscheinen, können die Eigenschaft, Wassergas zu condensiren, in sehr verschiedenem Grade besitzen (§. 757.). Es ist klar, dafs wenn die Oberflächen der isolirenden Stützen, je nach der zufälligen Einwirkung von nicht auszuschliefsenden Agentien, aus der Atmosphäre eine verschiedene Menge von Wasser condensiren, auch die Leitung der Elektricität durch jene Stützen sehr verschieden ausfallen wird, und dafs eine Vergleichung der Isolatoren in der oben bezeichneten Weise nur sehr schwankende Resultate liefern kann.

Für den Gebrauch ist zu merken, dafs zu Stützen elektrisirter Körper sich der Schellack vorzüglich bewährt hat, dessen Isolationsvermögen weniger schwankend ist, als das anderer Körper. Nach Coulomb ist der Schellack von dunkeler Farbe dem von heller vorzuziehen. Wo man den massiven Schellack nicht anwenden kann, und zu Stützen aus Seide, Glas, gedörrtem Holze seine Zuflucht nehmen mufs, überzieht man diese Stoffe mit geschmolzenem Schellack oder mit einer Auflösung des Schellacks in Weingeist. Die erste Art des Ueberzuges ist der letzteren bei Weitem vorzuziehen, nur ist darauf zu sehen, dafs der Schellack nicht bis zur Zersetzung erhitzt werde, weil er dann mit seiner Farbe auch sein Isolationsvermögen verliert. Der Ueberzug mit reinem Schellack hat den Nachtheil, dafs er bei starken Temperaturveränderungen Risse bekommt, und daher zuweilen erneut werden mufs. Wo dies lästig wird, setzt man dem Schellack etwas Terpenthin zu, oder bedient sich des käuflichen feinen Siegellacks. Statt des Schellackfirnisses gebraucht man auch häufig den Bernsteinfirnifs, der, wenn er ganz trocken geworden ist, gut isolirt. Bei jeder isolirenden Stütze ist dafür zu sorgen, dafs sie bei dem Gebrauche nicht kälter sei als die sie umgebende Luft.

Digitized by Google

Viertes Kapitel.

Anordnung der Elektricität auf einzelnstehenden Leitern.

Indirecte Bestimmung der Elektricitätsmenge.

110 Um die Anordnung der Elektricität auf guten Leitern kennen zu lernen, hat man die Elektricitätsmenge zu bestimmen, die auf dem ganzen Leiter und auf einem einzelnen Theile desselben vorhanden ist. Besitzt der Leiter die Gestalt einer Kugel oder Scheibe, so kann die ganze vorhandene Elektricitätsmenge in dem Mittelpunkte des Leiters vereinigt gedacht und direct gemessen werden, wenn nicht die Gröfse des Leiters die Messung vereitelt. Bei directer Messung hat man nämlich den Leiter an die Stelle der Standkugel in die Torsionswage einzusetzen, und seine Elektricitätsmenge durch die früher gelehrten Methoden zu ermitteln. Dasselbe geschieht, wenn die Theile des Leiters, deren Elektricitätsmenge gesucht wird, aus Kugeln oder Scheiben bestehen, und von einander getrennt an Schellackstielen in die Wage gebracht werden können. Verbietet aber Gröfse oder Gestalt des Leiters die directe Messung, so mufs man eine indirecte anwenden, die sich darauf gründet, dafs ein elektrisirter Leiter einer leitenden Kugel, die ihn an einem beliebigen Punkte berührt, eine der seinigen proportionale Elektricitätsmenge mittheilt. Man kann sich hiervon überzeugen, indem man einen elektrisirten Leiter an einem bestimmten Punkte mit der Standkugel der Torsionswage berührt, eine Messung ausführt, und dies Verfahren wiederholt, nachdem man die Elektricitätsmenge des Leiters auf die Hälfte gebracht hat. Die gemessenen Elektricitätsmengen der Standkugel werden dann, nach angebrachter Correction wegen der

Digitized by Google

Zerstreuung, im Verhältnisse 2 zu 1 stehen. Oder in einem [110]
leichteren Versuche: Man berühre einen Punkt eines elektrisirten Leiters mit der Standkugel, und denselben noch einmal nach Verlauf von einigen Minuten, messe beidemale die Elektricitätsmenge der Standkugel, und vollführe nach der zweiten Messung die §. 117 angegebene zur Reduction nöthige Beobachtung. Reducirt man dann beide Messungen auf denselben Zeitpunkt, so erhält man sehr nahe für beide denselben Werth und damit den Beweis, dafs die Standkugel bei der zweiten Berührung von der, durch die Zerstreuung verminderten, Elektricitätsmenge des Leiters denselben aliquoten Theil erhalten hat, wie bei der ersten Berührung. Die indirecte Messung der Elektricitätsmenge eines Leiters besteht demnach in der Berührung eines beliebigen Punktes des Leiters mit der Standkugel (die deshalb auch Prüfungskugel genannt wird) und der Bestimmung der Elektricitätsmenge der Kugel in der Torsionswage.

Die indirecte Messung ist leicht genau auszuführen, wenn 111
sie zur Bestimmung der ganzen Elektricitätsmenge gebraucht wird, die sich zu verschiedenen Zeiten auf einem Leiter befindet. Viel schwieriger ist die Anwendung der Methode auf die Elektricitätsmengen, die gleichzeitig an verschiedenen Stellen eines Leiters angehäuft sind. Diese verschiedene Ansammlung der Elektricität ist nicht eine zufällige, sondern, wie wir später sehen werden, durch die Gestalt des Leiters bedingt. Indem man eine Stelle des Leiters mit dem Prüfungskörper berührt, um die daselbst vorhandene Elektricitätsmenge in der Wage zu messen, wird man die Gestalt des Leiters und damit die elektrische Anhäufung in bedeutendem Grade verändern, wenn man nicht die Vorsicht braucht, einen in Bezug auf den Leiter sehr kleinen Prüfungskörper zu wählen. Eine kleine biegsame Platte, die sich genau der Form der zu untersuchenden Stelle des Leiters anschliefst, würde zu diesen Untersuchungen den geeignetsten Prüfungskörper abgeben, wenn es nicht äufserst schwierig wäre, eine solche Platte mit sich parallel von dem Leiter abzuheben, was durchaus zur Erlangung sicherer Werthe nöthig ist. Man wählt deshalb am passendsten Prüfungskörper, die stets auf dieselbe Weise von

Digitized by Google

[111] dem Leiter abgehoben werden können, eine Kugel, wenn man ebene, eine Scheibe, wenn man krumme Flächen zu untersuchen hat. Mit Vorsicht angewendet, nehmen Kugel und Scheibe von den berührten Stellen Elektricitätsmengen auf, die den daselbst vorhandenen nahe proportional sind.

Messung von Elektricitätsmengen mit Einem Prüfungskörper.

112 Die zu dieser Messung nöthige Prüfungskugel unterscheidet sich von der bereits beschriebenen Standkugel der Wage nur durch ihre geringere Gröfse; sie wird aus Messing und mit einem Durchmesser von ungefähr 2 Linien angefertigt.

Die Prüfungsscheibe. Coulomb benutzte zu seinen Messungen die in Fig. 33 abgebildete Prüfungsscheibe. Eine Scheibe *e* aus Rauschgold 4 bis 5 Linien im Durchmesser, ist an dem gebogenen Schellackstiele *bcd* winkelrecht befestigt, der durch ein ebenes Holzstück hindurchgehend, beliebig erhöht, und durch eine Schraube festgestellt werden kann. Die Scheibe wird in die Torsionswage so eingebracht, dafs die Kugel des Wagebalkens den Mittelpunkt der Scheibe berührt, dabei die Lage des Holzstückes auf dem Deckel genau bezeichnet, um sogleich wieder hergestellt werden zu können. Coulomb suchte durch eigene Messungen das Verhältnifs der Elektricitätsmengen zu ermitteln, die von einer solchen Scheibe aufgenommen und an der von ihr berührten Stelle einer krummen Fläche zurückgelassen werden [1]). Eine grofse isolirte Metallkugel wurde successiv mit verschiedenen Elektricitätsmengen versehen, die mit Hülfe der Prüfungskugel gemessen wurden (§. 115.). Nachdem die Kugel mit dem Mittelpunkte einer grofsen Metallscheibe berührt worden war, wurde ihre Elektricitätsmenge aufs Neue bestimmt, und so das Verhältnifs der von der Scheibe aufgenommenen zu der auf der Kugel zurückgebliebenen Elektricitätsmenge gefunden. Bei allen Versuchen stand die Menge der Scheibe zu der der Kugel nahe im Verhältnifs ihrer Oberflächen, und zwar war dies um so genauer der Fall, je kleiner die Scheibe war. Da bei diesen

---

[1]) *Mémoires de l'Acad. des Sciences. Paris* 1788.* *p.* 675.

Digitized by Google

Scheiben beide Oberflächen gezählt wurden, so wird geschlossen, [112]
dafs die Prüfungsscheibe die doppelte Elektricitätsmenge von der aufnimmt, die auf der von ihr bedeckten Stelle einer Kugelfläche zurückbleibt. — Jede Berührung mit der Prüfungsscheibe vermindert die Elektricitätsmenge des untersuchten Leiters; man kann diesen Verlust nach der gefundenen Regel in Rechnung setzen, wo nicht die Geringfügigkeit desselben dies unnöthig macht.

Eine besondere Aufmerksamkeit hat man auf den Stiel 113
der Prüfungskörper zu richten, damit dieser die Elektricität vollkommen isolire. Nicht jeder Schellack pafst dazu (§. 109.); ehe man eine bestimmte Sorte dazu verwendet, mufs man sich von ihrer Tauglichkeit überzeugen. Indem man den Schellack zu wiederholtem Male mäfsig erwärmt und auf trockenen, gut isolirenden Glasscheiben ausrollt, bildet man aus ihm einen dünnen Cylinder von 3 bis 4 Zoll Länge, dessen Oberfläche zuletzt an der Lichtflamme vollkommen glänzend gemacht wird. Man berührt mit dem Ende des Cylinders einen elektrisirten Körper, und prüft sodann das Ende an dem Säulenelektroskope (§. 16.); zeigt sich keine Elektricität, so ist der Cylinder zum Stiele tauglich. Es ist bequem, nur den untern Theil des Stieles aus Schellack zu verfertigen, zu dem oberen, durch das Holz hindurchgehenden, Theil einen mit Schellack überzogenen Glasstab zu nehmen. Auch die Stellung durch die Schraube ist oft bei der Ajustirung der Scheibe in der Wage nicht anwendbar. Das Loch im Holze wird besser vergröfsert, mit Kork ausgefüllt, der Glasstiel durch den letztern geführt, und durch einen leicht schmelzbaren Kitt (1 Theil Wachs, 3 Theile Colophon) auf der oberen Fläche des Holzes befestigt. Bei der Ajustirung erhitzt man den Glasstab oberhalb des Holzes, erweicht dadurch den Kitt, und macht die Scheibe in der Wage nach jeder Richtung beweglich. Hat man die gewünschte Stellung erlangt, so erhält man den Stiel darin einige Sekunden lang, bis ihn der erhärtete Kitt unverrückbar befestigt hat. Es ist nöthig, dafs der Stiel der Prüfungskörper vor dem Anlegen an den zu prüfenden Körper unelektrisch sei; man erreicht dies durch Hindurchführen desselben durch eine Spiritusflamme (§. 42.).

Digitized by Google

114 Um die Elektricitätsmenge auf einer Stelle eines Leiters zu bestimmen, berührt man die Stelle mit dem Prüfungskörper und bringt diesen in die Torsionswage. Aber mit dieser Messung ist für die Kenntnifs der elektrischen Anordnung auf dem Leiter Nichts gewonnen. Denn da die Elektricitätsmenge einer Stelle abhängig von der ganzen Menge ist, die der Leiter besitzt, sich also mit der Zeit verändert, so bedarf man stets die Bestimmung einer zweiten Menge, die gleichzeitig an einer andern beliebigen Stelle des Leiters vorhanden ist. Man mufs daher nach der ersten Bestimmung den Prüfungskörper unelektrisch machen, mit ihm die zweite Stelle des Leiters berühren, in der Wage eine zweite Messung anstellen, und diese auf den Zeitpunkt der ersten reduciren. Diese Reduction ist leicht nach der strengen Formel (§. 93.) oder nach der Näherungsformel (§. 96.) auszuführen, wenn man die Zeitpunkte beider Messungen gemerkt hat und den Werth der Gröfse p kennt. Dieser Werth von p aber ist, wie wir weiter unten sehen werden, bei den Messungen mit den Prüfungskörpern nicht constant, er ist von einer Messung zur andern bedeutenden Aenderungen unterworfen und mufs jedesmal aufs Neue bestimmt werden. Coulomb hat die Bestimmung von p gleich in die Messung der Elektricitätsmengen aufgenommen, und sich dazu einer eigenen Messungsart bedient, die mit dem Namen der *alternirenden Messung* bezeichnet wird. Um nämlich das Verhältnifs der Elektricitätsmengen a und b zu finden, die auf zwei Stellen eines Leiters oder zweier Leiter gleichzeitig vorhanden sind, berührte Coulomb [1]) die erste Stelle mit einem Prüfungskörper, dann die zweite, dann die erste wieder u. s. f., und brachte nach jeder Berührung den Prüfungskörper zur Messung in die Wage. Durch passende Drehung des Torsionskreises brachte er es dahin, dafs die vollendeten Messungen, die durch die wieder hergestellte anfängliche Elongation des Wagebalkens bezeichnet sind, in der Zeit sehr nahe gleichweit auseinander lagen. Er erhielt hierdurch mehrere (gewöhnlich 5) äquidistante Werthe der Elektricitätsmengen beider Stellen, nämlich $a\ b\ a'\ b'\ a''$, und verglich das arithmetische Mittel von a

[1]) *Mémoires de l'Acad. d. Scienc. Paris* 1787.* 426.

Digitized by Google

und a' mit b, das von b und b' mit a', das von a' und a'' mit b'. [114] Für das gesuchte Verhältnifs der beiden Elektricitätsmengen $\frac{a}{b}$ ergaben sich also die Werthe $\frac{a+a'}{2b}$ $\frac{2a'}{b+b'}$ $\frac{a'+a''}{2b'}$, von welchen das arithmetische Mittel als der wahrscheinlichste Werth genommen wurde. Diese Benutzung der alternirenden Bestimmung beruht darauf, dafs in der Entwickelung von $t_,$ nach $\frac{z}{p}$ in Formel I. (§. 96.) nur die erste Potenz von $\frac{z}{p}$ beibehalten wird. Es seien nämlich t $t_,$ $t_{,,}$ drei äquidistante, durch die Zeit z geschiedene, Torsionen, die einer Elektricitätsmenge entsprechen, so hat man mit Vernachlässigung der höheren Potenzen von $\frac{z}{p}$

$$t_, = t_{,,}\left(1+\frac{z}{p}\right)$$

$$t = t_{,,}\left(1+\frac{2z}{p}\right)$$

hieraus $\frac{z}{p} = \frac{1}{2}\left(\frac{t}{t_{,,}}-1\right)$ und

$$t_, = t_{,,}\left(\frac{t}{2t_{,,}}+\frac{1}{2}\right) = \frac{t+t_{,,}}{2}$$

Der Fehler von $t_,$ übersteigt bei dieser Berechnung die Gröfse $\frac{1}{2}\left(\frac{z}{p}\right)^2 t$ und kann daher nur geduldet werden, wenn die Zwischenzeit zwischen zwei Beobachtungen klein und die Zerstreuung der Elektricität gering ist. Coulomb hat bei seinen genauen Messungen diese Bedingungen stets erfüllt. Wenn dieselben nicht erfüllt sind, mufs man sich zur Berechnung der alternirenden Messungen der Näherungsformel (§. 96.) bedienen. Es liegen, in den dort gebrauchten Zeichen, die Torsionen $t_,$ und $t_{,,}$ z' Minuten auseinander, und es wird eine Torsion $t_,$ gesucht für den Zeitpunkt $\frac{z'}{2}$ nach $t_,$. Setzt man in die Näherungsformel $z = -\frac{z'}{2}$ so kommt

$$t_, = \frac{t_, + 3t_{,,}}{3+\frac{t_{,,}}{t_,}}$$

Diesen Ausdruck hat man statt des arithmetischen Mittels der einzelnen Bestimmungen, und daher für die Werthe

Digitized by Google

[114] des Verhältnisses $\frac{a}{b}$, statt der oben angegebenen Quotienten die folgenden zu bilden:

$$\frac{a+3a'}{b\left(3+\frac{a'}{a}\right)} \qquad \frac{a'\left(3+\frac{b'}{b}\right)}{b+3b'} \qquad \frac{a'+3a''}{b'\left(3+\frac{a''}{a'}\right)}$$

Aus diesen Werthen wird dann das arithmetische Mittel als der wahrscheinlichste Werth des Verhältnisses $\frac{a}{b}$ genommen.

115 Ich habe die alternirende Messung ausführlich beschrieben, weil sie von Coulomb zu vielen genauen Bestimmungen angewendet worden ist, und noch jetzt zu annähernden Messungen, z. B. zu denen im Torsionselektrometer (§. 75.) auszuführenden, mit Vortheil gebraucht wird. In aller Strenge ist die Methode nur in speciellen Fällen anwendbar, bei vielen Erscheinungen sogar völlig unausführbar, wie die folgenden Betrachtungen zeigen. Es seien in dem Zeitintervall 1 zwei Bestimmungen derselben Elektricitätsmenge a und a' gemacht, und eine dritte zwischen beiden liegende (a) berechnet; ferner eine Messung einer zweiten mit (a) gleichzeitig bestehenden Elektricitätsmenge b angestellt, und die im halben Zeitintervalle folgende (b) berechnet. Man hat also die 5 Torsionen

$$\begin{matrix} a & \\ (a) & b \\ a_{,} & (b) \end{matrix}$$

von welchen die in einer Zeile stehenden gleichzeitige sind. Die alternirende Bestimmung setzt voraus, dafs das Verhältnifs (a) zu b, dem $a_{,}$ zu (b) gleich sei, oder dafs der Werth p in der Formel I. (§. 93.) für (a) und (b) derselbe sei. Dieser Voraussetzung ist nur streng zu genügen, wenn die Elektricitätsmengen a und b an demselben Leiter beobachtet werden, nicht aber, wenn sie verschiedenen Leitern zugehören. Da nämlich p von Beschaffenheit und Dimensionen des Isolators abhängt, der den Leiter stützt, so würden in dem letzten Falle die beiden Leiter durch vollkommen gleiche Isolatoren gehalten sein müssen, was bei vielen Versuchen mit eigenthümlichen Schwierigkeiten verknüpft ist. Aber auch eine vollkommene Gleichheit der Isolatoren wird nicht unter allen Um-

Digitized by Google

ständen das Geforderte leisten, da p für längere Zeiträume [115] auch von der ganzen Elektricitätsmenge des Leiters abhängt. Wo daher die beiden Leiter sehr verschiedene Mengen besitzen, bemerkt man in den aufeinanderfolgenden Werthen des Verhältnisses $\frac{a}{b}$ eine Aenderung in bestimmtem Sinne, und das arithmetische Mittel wird sich nicht mehr dem richtigen Werthe nähern.

Bei vielen Leitern ist die alternirende Bestimmung nicht anwendbar, weil jene sich nicht in der nöthigen Stärke elektrisiren lassen, um bei aufeinanderfolgenden Messungen eine gleiche Genauigkeit zu gestatten. Leiter, die in Ecken oder Spitzen auslaufen, verlieren in wenigen Sekunden jede Elektricitätsmenge, die eine bestimmte Gröſse übersteigt, und erst nach diesem Verluste erleiden sie die normale Abnahme der Elektricität, bei welcher die Anwendung der alternirenden Bestimmung zulässig ist. Dann aber sind einzelne Stellen an ihnen so wenig elektrisch, daſs der Beobachtungsfehler in der Wage schon die erste Bestimmung ihrer Elektricitätsmenge unsicher macht, und diese Unsicherheit nimmt bei den folgenden Bestimmungen zu. Endlich giebt es eine groſse Klasse von Versuchen, bei welchen die Hauptbedingung der Methode nicht erfüllt ist, daſs nämlich dieselbe Elektricitätsmenge sich zweimal und öfter bestimmen lasse. Hier fordert das Auftreten der Elektricitätsmenge b, daſs die Menge a nicht mehr vorhanden sei, und ein Zurückgehen auf a ist nicht möglich. — Die Methode der alternirenden Bestimmung ist daher, streng genommen, auf den einzigen Fall beschränkt, wo an einem Leiter mit runder Oberfläche die Elektricitätsmengen verschiedener Stellen gemessen werden sollen. Derselben Beschränkung unterliegt die Methode mit einfacher Berührung durch den Prüfungskörper (§. 112.), wenn sie genaue Resultate geben soll; doch ist diese Methode, da bei ihr ein Zurückgehen auf eine einmal gemessene Elektricitätsmenge nicht stattfindet, überall ausführbar. Man wendet die Methode daher im Torsionselektrometer da an, wo die der alternirenden Bestimmung ausgeschlossen ist. Ich habe mich zu genauen Messungen in der Torsionswage der gepaarten Prüfungskörper bedient, die

Digitized by Google

[115] in allen Fällen mit gleicher Leichtigkeit und Genauigkeit gebraucht werden können.

Messung von Elektricitätsmengen mit gepaarten Prüfungskörpern.

116 Es werden hierbei zwei Prüfungskörper (Kugeln oder Scheiben) gebraucht von genau gleicher Beschaffenheit und Stellung in der Wage, so dafs gleichgültig der eine oder der andere Körper zur Bestimmung einer Elektricitätsmenge benutzt werden kann. Die Herstellung zweier solcher Prüfungskugeln hat keine Schwierigkeit. Jede Kugel (von 1 Linie Radius, aus Messing sorgfältig gedreht) erhält einen aus Schellack und Glas zusammengesetzten Stiel von ungefähr gleicher Länge, der auf die beschriebene Weise (§. 113.) mit heifsem Kitt in einer kleinen Holzplatte befestigt wird. Man bringt die eine Kugel in die Wage, und richtet sie durch Bewegung des erwärmten Stieles und Verschiebung der Holzplatte, so dafs die Kugel des Wagebalkens von jener an einem bemerkbaren Punkte berührt wird. Der Stand der Glimmerscheibe am Wagebalken wird bei dieser Berührung an der seitlichen Eintheilung abgelesen, oder, wenn diese fehlt, durch einen ausgespannten Faden markirt. Ist an der Wage ein Mikroskop zur Ablesung vorhanden, so bringt man die Glimmerscheibe durch Drehung der Deckplatte der Wage in das Feld desselben. Nach Entfernung der ersten Prüfungskugel bringt man die zweite in die Wage, und richtet sie an ihrem Stiele, bis die Glimmerscheibe die frühere Lage erhält. Die richtige Stellung der Holzplatten, welche die Stiele der Kugeln tragen, wird auf der Deckplatte der Wage in der Weise bezeichnet, dafs sie schnell und sicher wiederzuerlangen ist. —

Weit schwieriger als zwei Kugeln, sind zwei gleichwerthige Prüfungsscheiben zu verfertigen und zu ajustiren, daher ich die Beschreibung des von mir dazu angewandten Verfahrens hier folgen lasse. Der gerade Stiel der Scheiben war aus gewalztem Schellack in der Weise verfertigt und in einer Holzplatte befestigt, wie oben angegeben ist, der Arm aber, der die Scheibe selbst trug, wurde folgendermafsen hergestellt. Ein hohler Holzcylinder von $1\frac{1}{2}$ Zoll Höhe war an seiner Grund-

Digitized by Google

fläche mit einer durchbohrten Messingplatte versehen. Ein [116]
ausgesuchtes Schellackstäbchen von 2 Zoll Länge wurde an einem Ende bis zum Schmelzen erhitzt und mit diesem Ende auf eine reine Glasplatte gestellt; der Holzcylinder wurde über dasselbe gestülpt und mit einem Gewichte von 3 Pfund beschwert. Bei einiger Vorsicht erhält man so an dem Schellackstäbchen eine Schellackscheibe von etwa $5\frac{1}{2}$ Linien Durchmesser mit spiegelnder Oberfläche. Ein zweites Schellackstäbchen wurde ebenso behandelt, bis die gepreſste Scheibe mit der ersten gleiche Dicke und gleichen Durchmesser hatte. Dies gelang erst nach mehreren Versuchen, in welchen die bereits gepreſste, nicht genügende, Scheibe an der Metallplatte des Holzcylinders vorsichtig erwärmt und aufs Neue gepreſst wurde. Jede Scheibe wurde mit ihrem Stiele an den langen Stiel angesetzt, so daſs die Fläche der Scheibe der Axe des langen Stieles sichtlich normal stand. Ein Scheibchen von $5\frac{1}{6}$ Linien Durchmesser, das mit einem scharfen Stahlstempel aus ächtem Goldpapiere geschlagen war, wurde auf der spiegelnden Fläche jeder Scheibe mit Schellackfirniſs befestigt und angedrückt. Eine der so gefertigten Prüfungsscheiben wurde, nachdem der Kitt ihres Glasstieles erwärmt war, in die Wage gebracht und so gerichtet, daſs die Kugel des Wagebalkens die Mitte der Scheibe berühren konnte. Hierauf wurde der Glasdeckel der Wage abgenommen und frei aufgestellt, die bereits eingepaſste Prüfungsscheibe genau an die früher bezeichnete Stelle gesetzt. Eine kleine Glimmerscheibe, an dem Ende einer Schraube befindlich, deren Mutter festgestellt war, wurde genau mit der Prüfungsscheibe in Berührung gesetzt, und die letztere sodann entfernt. Ich machte nun den Stiel der zweiten Prüfungsscheibe nach allen Seiten biegsam, indem ich das Knie desselben und den Glasstiel oberhalb der Holzplatte erwärmte, und suchte die Goldscheibe in die durch die feste Glimmerscheibe bezeichnete Stellung zu bringen. War dies gelungen, so wurde wieder die erste Prüfungsscheibe versucht und so fortgefahren, bis beide Scheiben eine möglichst identische Lage hatten, wenn ihre Holzplatten auf der Deckplatte der Wage an einer bezeichneten Stelle lagen. — Wie man sich von der Tauglichkeit solcher Paare von Prü-

Digitized by Google

[116] fungskugeln oder Prüfungsscheiben überzeugt, wird in dem folgenden Paragraphe gelehrt.

117 Um mit gepaarten Prüfungskörpern das Verhältnifs der Elektricitätsmengen a und b an zwei Stellen eines Leiters zu bestimmen, berührt man mit ihnen gleichzeitig oder schnell nach einander die beiden Stellen, und bringt den einen Körper in eine weite Glasglocke, den andern in die Torsionswage. Nach vollendeter ersten Messung, deren Zeitpunkt an einer Sekundenuhr bemerkt wird, bringt man den zweiten Körper in die Wage, bemerkt den Zeitpunkt der zweiten Messung, und vermindert die Torsion des Drathes um eine beliebige Anzahl Grade. Der Zeitpunkt, an dem hiernach der Wagebalken wieder die anfängliche Elongation besitzt, bildet die letzte Beobachtung. Aus diesen Daten kann das gesuchte Verhältnifs der beiden Elektricitätsmengen berechnet werden, indem man die zweite Messung mit Zuhülfenahme der Zeitbestimmungen durch die Näherungsformel (§. 96.) auf den Zeitpunkt reducirt, an dem die erste Messung vollendet war. Es habe die zweite Messung die Torsion $t_,$ gegeben, z Minuten nach der ersten Messung, es sei der Torsionskreis bis $t_,$ zurückgedreht worden, so dafs $t_, - t_, = d$, und es habe darauf der Balken nach z' Minuten eingespielt, so ist die Torsion $t_,$ zu berechnen, die mit der ersten Messung gleichzeitig ist. Nach den Ausdrücken 1 und 2 §. 96 ist nämlich

$$t_, = t_, + \frac{t_,}{\frac{p}{z} - 0{,}5}$$

$$p = z' \frac{t_, - \frac{1}{2}d}{d}$$

Der Werth p wird augenblicklich gefunden, da d die beliebige Anzahl von Graden bedeutet, um welche der Torsionskreis zurückgedreht worden ist. Der Beobachter wird für d 5 10 oder 20^0 nehmen, je nach der Gröfse der Torsion $t_,$ und des ungefähr zu schätzenden p. Da nämlich der letzte Zeitpunkt, wo der Wagebalken einspielt, leicht um 2 Sekunden unsicher sein kann, so mufs man bedacht sein, dafs das Zeitintervall z' nicht zu klein werde. Mit dem berechneten $t_,$ wird die beobachtete Torsion der ersten Messung verglichen, und

Digitized by Google

giebt das gesuchte Verhältnifs $\frac{a}{b}$ der beiden Elektricitätsmen- [117]
gen. Da man der absoluten Gleichheit zweier Prüfungskörper niemals ganz sicher sein kann, so ist es gerathen, bei der Wiederholung der Bestimmung von $\frac{a}{b}$ den Körper, der früher a mafs, zur Messung von b anzuwenden, und das Mittel beider Bestimmungen zu nehmen. Als Beispiel dieser Bestimmungsmethode wähle ich Messungen, durch die ich mich von der gleichen Stellung zweier Prüfungskörperpaare in der Wage überzeugt habe. Ich berührte denselben Punkt an dem Knopfe einer geladenen leydener Flasche schnell nach einander mit zwei zusammengehörigen Prüfungskörpern, und bestimmte das Verhältnifs der aufgenommenen Elektricitätsmengen, das, bei Tauglichkeit der Körper, wenig von der Einheit verschieden sein durfte. Die Messung ist in diesem Falle weder leichter noch schwerer, als wenn die verschiedensten Elektricitätsmengen gemessen werden sollen.

Scheibe.	Zeitintervall.	Torsionen beobacht.	Torsionen berechn.	Verhältnifs Scheibe 2 zu 1
1		246°		1,02
2	3,6 Min.	229	250,8	
	2,5	215		
2		233		0,99
1	3,5	216	231,3	
	3,3	200		
			Mittel	1,00
Kugel				Kugel 4 zu 3
4		93		1,00
3	2,7	85	92,5	
	4	75		
3		175		1,00
4	2,9	159,5	175,3	
	2	149,5		

Die berechnete Torsion ergiebt sich z. B. für die letzte Beobachtung folgendermafsen:

Digitized by Google

[117] Es ist $t_0 = 159{,}5 \quad d = 10 \quad z = 2{,}9 \quad z' = 2$

daher $p = \frac{2 \cdot 154{,}5}{10} = 30{,}9 \quad \frac{p}{z} - 0{,}5 = 10{,}1$

$$t_0 = 159{,}5 + \frac{159{,}5}{10{,}1} = 175{,}3$$

Veränderlichkeit der Gröfse p bei den Messungen in der Torsionswage.

118 Es ist oben (§. 100.) von dem Zerstreuungscoefficienten oder dem Werthe $\frac{1}{p}$ angeführt worden, dafs er von einem Tage zum andern bedeutenden Aenderungen unterworfen ist, die ersichtlich von dem Wassergehalte der Luft abhangen. Bei den Messungen in der Wage treten zu diesen Aenderungen noch andere, weit bedeutendere hinzu, die durch die Bedingungen verursacht werden, unter welchen diese Messungen angestellt werden. Wenn bei den Versuchen über die Zerstreuung (§. 92.) verhältnifsmäfsig grofse Kugeln an dünnen Schellackfäden mit sehr geringen Elektricitätsmengen in die Wage gebracht wurden, so müssen hier sehr kleine Kugeln oder Scheiben gewählt werden, die zur sicheren Stellung an dicken Schellackstielen befestigt sind, und deren Elektricitätsmenge nicht von dem Willen des Beobachters abhängt. Den schädlichsten dieser Aenderungen entgeht man, wenn die Torsionswage nicht von zu geringer Gröfse gewählt wird, und dadurch der Prüfungskörper von der Glaswand der Wage hinlänglich entfernt werden kann (ich habe $1\frac{1}{2}$ Zoll Entfernung genügend gefunden); und endlich, wenn man die Messung grofser Elektricitätsmengen in der Wage vermeidet. Aber auch bei dieser Vorsicht treten noch bedeutende Aenderungen der Gröfse p während der Messung von Elektricitätsmengen ein, die der Beobachter kennen und möglichst zu verringern suchen mufs. Ich führe deshalb meine Erfahrungen darüber ausführlich an.

Der Werth p hängt von dem Materiale der Stiele der Prüfungskörper wesentlich ab, und dasselbe ist daher sorgsam und nach vorläufigen Prüfungen zu wählen. Mit geschmolzenem Schellack überzogene Glasstäbe habe ich dazu gänzlich untauglich gefunden, da solche Stäbe bei auch nur momentaner

Digitized by Google

Berührung eines elektrisirten Körpers stets Elektricität auf- [118]
nahmen. Von Schellack habe ich sechs Sorten, zum Theil aus verschiedenen Handlungen und von verschiedener Farbe untersucht. Gegen Coulomb's Angabe, dafs Schellack von dunkelster Farbe sich am besten zu Stielen von Prüfungskörpern eigene [1]), habe ich den hell orangefarbenen Schellack vorzüglicher gefunden. Der dunkele Schellack ist unreiner, als der helle, daher man aus einer braunen Sorte theils brauchbare theils unbrauchbare Stiele erhält, bei einer hellen Sorte die Stiele weniger ungleich ausfallen. Die Oberflächenbeschaffenheit der Stiele hat einen bedeutenden Einfluſs auf die Gröfse p, welcher Umstand, da die Oberfläche der Körper einer fortdauernden Aenderung unterworfen ist, die elektrischen Messungen sehr beschwerlich zu machen drohte. Hat man sich nämlich zwei brauchbare Stiele verschafft, die ein nahe gleiches und grofses p geben (mit dem p verglichen, das eine an einem Schellackfaden hangende Kugel liefert) so findet man schon nach einigen Tagen die Zerstreuung an beiden Stielen vergröfsert, und zwar gewöhnlich in ungleichem Maafse vergröfsert. Es ist dies Folge des Einflusses der Atmosphäre und anderer nicht auszuschliefsenden Agentien auf die Oberfläche des Schellacks (§. 109.). Die Benutzung selbst der Stiele wirkt dahin, ihre Verschlechterung zu beschleunigen. Vor jeder Messung müssen nämlich die Stiele vollkommen unelektrisch gemacht, und dazu durch die Spitze einer Spiritusflamme gezogen werden, wobei die Producte der Verbrennung des Alkohols die Oberfläche des Schellacks verändern. Hat man den Stiel in einiger Entfernung über die Flamme fortgeführt, so tritt oft eine plötzliche Aenderung des Schellacks ein, durch welche der Werth p sogleich eine bedeutende Verringerung erfährt. In solchem Falle genügt es zur Wiederherstellung des früheren Werthes von p, den Stiel mit einem leinenen Tuche abzureiben und durch die Spitze einer Spiritusflamme zu führen. Nach einer allmäligen Aenderung der Schellackoberfläche aber bleibt dies Mittel unwirksam, und ich war lange Zeit hindurch genöthigt, alsdann den unbrauchbaren Stiel durch einen neuen

[1]) *Mémoires de l'Acad. Paris* 1787.* p. 427.

Digitized by Google

[118] zu ersetzen, was immer mit grofsem Zeitverluste verbunden ist. Ich versuchte daher, den untauglichen Stiel durch Waschen mit Alkohol zu verbessern, und dies glückte so vollkommen, dafs ich seitdem Stiele, die einmal genügt hatten, nicht mehr verworfen habe. Der veränderte Stiel wird hierbei mit starkem Alkohol (spec. Gew. 0,81) leicht genäfst, mit einem leinenen Tuche abgerieben, durch eine Flamme geführt und in einer Glasglocke dem Trocknen überlassen. Die Wirksamkeit dieser Operation zeigt sich in dem folgenden Beispiele. An die Prüfungskugel No. 3 war am 30. Novbr., an die Kugel No. 4 am 5. Decbr. ein neuer Schellackstiel angesetzt worden. Diese Stiele waren, wie die folgende Messung zeigt, am 8. December noch vollkommen brauchbar.

Kugel.	Zeit.	Intervall.	Torsion.	p
4	^{h} 28′ 0″		259	
	31 5	3,1	239	38,6
3	38 10		213,5	
	42 3	3,9	193,5	39,7

In den folgenden Tagen gingen die Werthe von p für beide Stiele immer weiter auseinander, so dafs am 15. Decbr. folgende Messung erhalten wurde:

Kugel.	Zeit.	Intervall.	Torsion.	p
3	50′ 30″		428	
	51 33	1,1	408	23,0
4	11 55		476,5	
	14 23	2,5	456,5	58,3
	Der Stiel von 3 wurde mit Alkohol gereinigt.			
Decbr. 16.				
3	14 40		349	
	17 58	3,3	329	55,9
4	34 30		368,5	
	36 35	2,1	348,5	37,6
	Der Stiel 4 mit Alkohol gereinigt.			
Decbr. 17.				
4	4 46		378	
	8 5	3,3	358	60,7
3	15 25		316	
	19 15	3,8	296	58,1

Digitized by Google

Nach häufigem Gebrauche trat die Nöthigung zu einer [118]
neuen Reinigung für den Stiel 4 am 24. Decbr., für 3 am
25. Decbr., sodann für beide Stiele am 6. Januar ein.

Ich komme nun zu einer andern Ursache der Veränder- 119
lichkeit der Gröfse p. Man elektrisire zwei Prüfungskugeln
an ihren Schellackstielen verschieden stark, und bestimme ihre
Elektricitätsmengen durch Messung in der Wage; das Verhält-
nifs der Elektricitätsmengen sei a und so genommen, dafs es
gröfser als 1 ist. Stellt man nun die Kugeln frei im Zimmer
auf, und bestimmt nach einer halben oder ganzen Stunde das
Verhältnifs a zum zweitenmale, so findet man es unverändert,
oder, wenn es von 1 sehr verschieden war, kleiner als früher.
Die gröfsere Elektricitätsmenge hat also in gleicher Zeit ver-
hältnifsmäfsig mehr verloren, als die kleinere. Dies ist be-
kannten Erfahrungen gemäfs, da nach Coulomb's Versu-
chen [1]) jeder Isolator in längerer Zeit Elektricität von einem
Leiter aufnimmt, mit dem er in Berührung steht, und zwar
einen desto gröfseren Theil davon, je stärker der Leiter elek-
trisirt ist. Um so auffallender ist es, dafs in den wenigen
Minuten, welche eine Prüfungskugel, zur Bestimmung der
Gröfse p in der Wage der Zerstreuung ausgesetzt bleibt,
genau das entgegengesetzte Verhalten eintritt. Die Zerstreuung
erscheint um so kleiner (p also um so gröfser) je bedeutender
die Elektricitätsmenge ist, die man beobachtet. Dies Ergeb-
nifs ist so constant, dafs ich zum Aufzeigen desselben irgend
welche zu anderen Zwecken angestellte Messungen heraus-
greifen könnte. Ich wähle zur Mittheilung die Versuche, welche
in der Absicht angestellt wurden, den Grund der Erscheinung
zu finden.

Eine Metallkugel von 4,54 par. Linien Durchmesser an
einem dicken Stiele aus braunem Schellack wurde elektrisirt
zur wiederholten Bestimmung von p benutzt, vor jeder neuen
Bestimmung aber mit einer ihr gleichen Kugel berührt.

Zeit.	Intervall.	Torsion.	p
9h 47′ 43″		333	
51 43	4	313	64,1

[1]) *Mém. de l'Acad. Paris* 1785.* *p.* 627

Digitized by Google

[119]

	Zeit.		Intervall.	Torsion.	p
			Elektr. d. Kugel geschwächt.		
10^h	0′	50″		138	
	4	25	3,6	128	47,9
			Dasselbe.		
	13	0		55	
	16	58	4	50	42,0

Die Kugel hatte $1\frac{1}{2}$ Zoll von der Glaswand der Wage entfernt gestanden; in dem folgenden Versuche wurde sie 3 Zoll von derselben gestellt.

	59	25		181	
11	2	40	3,2	171	56,3
			Elektr. d. Kugel geschwächt.		
	8	30		75,3	
	10	43	2,2	70,3	32,0

Die Prüfungskugel, oben mit No. 4 bezeichnet (Durchmesser 2 Linien) an einem dicken Stiele von hellem Schellack gab Folgendes:

9	57	47		403,7	
10	1	10	3,4	383,7	66,9
			Elektr. d. Kugel geschwächt.		
	19	35		148,3	
	23	35	4	138,3	57,3
			Dasselbe.		
	27	25		69,3	
	30	52	3,5	64,3	46,8

Eine Hollundermark-Kugel von 4,79 Linien Durchmesser an einem (biegsamen) Schellackfaden von 4 Zoll Länge $\frac{1}{4}$ Lin. Dicke.

9	34	38		298	
	39	17	4,6	278	66,2
			Der Kugel Elektr. genommen.		
	44	7		137	
	48	7	4	127	52,8
			Dasselbe.		
	59	13		55	
10	3	40	4,5	50	47,2

Die Veränderung von p ist nicht minder deutlich, wenn man, wie in dem folgenden Versuche, nach der schwächeren Elektricitätsmenge wieder eine stärkere in Anwendung bringt.

Digitized by Google

[119]

Zeit.		Intervall.	Torsion.	p
11h	5′ 0″		177,8	
	8 35	3,6	167,8	62,2
	Der Kugel Elektr. genommen.			
	14 0		79	
	21 20	7,3	69	54,0
	Derselben Elektr. gegeben.			
	33 13		445,5	
	36 50	3,6	425,5	78,4

Bisher war die Elektricität der in der Wage feststehenden Kugel verändert worden; es wurde nun diese unberührt gelassen, dagegen die Elektricität der Kugel des Wagebalkens verändert.

9	47 47		204,5	
	53 55	6,1	184,5	59,3
	Dem Balken Elektricität genommen.			
10	2 40		91	
	5 23	2,7	86	47,8
	Demselben Elektr. gegeben.			
	17 48		258	
	23 16	5,5	238	68,2

Die mitgetheilten Versuche zeigen, dafs p desto gröfser 120
gefunden wird, eine je gröfsere Elektricitätsmenge in der Wage befindlich ist, und dafs die Erscheinung nicht abhängt von der Gröfse der elektrisirten Leiter, nicht von ihrer Nähe an der Glaswand der Wage, nicht von Beschaffenheit und Dicke der die Leiter stützenden Isolatoren. Der Grund der Erscheinung ist folgender. Indem ein elektrisirter Leiter Elektricität durch Zerstreuung verliert, wird die ihn umgebende Luft elektrisirt, abgestofsen und durch neue unelektrische Luft ersetzt. Bezeichnet q die Elektricitätsmenge des Leiters in einem Zeitpunkte, so wird die Menge, welche die Luft in der nächstfolgenden Zeiteinheit, z. B. in einer Sekunde, erhält, durch $\left(1 - e^{-\frac{1}{2p}}\right)q$ ausgedrückt, wo e die Basis der natürlichen Logarithmen, und p eine von q unabhängige Constante bedeutet. Dies findet aber nur statt, insofern sich der Leiter in einem Luftraume befindet, der in Bezug auf sein eigenes Volumen als unbegrenzt gelten kann. Ist dies nicht der Fall, so ist der Zeitpunkt, an dem die Zerstreuung der Elektricität beob-

Digitized by Google

[120] achtet wird, und die Elektricitätsmenge, die derselbe anfangs besafs, nicht mehr gleichgültig. Am Anfange der zweiten Sekunde, nachdem der Leiter in den beschränkten Luftraum gebracht worden ist, ist dieser Raum nicht mehr unelektrisch, er besitzt schon die Elektricitätsmenge $\left(1 - e^{-\frac{1}{2p}}\right)q$, eine Menge, die um so gröfser ist, je gröfser q war, und die nun folgende Zerstreuung wird geringer sein, als zuvor. Es wird daher der Zerstreuungscoefficient $\frac{1}{2p}$ (der aliquote Theil der Elektricitätsmenge des Leiters, der in einem sehr kleinen Zeittheile verloren geht) in einem beschränkten Luftraume bestimmt, im Allgemeinen von Sekunde zu Sekunde abnehmen, aber bei grofser Elektricitätsmenge schneller abnehmen als bei kleiner. Diese Auseinandersetzung findet eine volle Anwendung auf die Bestimmung der Gröfse p in der Torsionswage, und erklärt die oben dargelegte Abhängigkeit dieser Gröfse von der angewandten Elektricitätsmenge. Die Gröfse p wird durch Beobachtung der Zerstreuung während mehrerer Minuten bestimmt, und dabei erhält die beschränkte Luftmasse in der Wage fortdauernd Elektricität von der Kugel des Wagebalkens und von der Prüfungskugel. Wenn daher auch im ersten Momente der Beobachtung die Gröfse p gleich ist für eine beliebige Elektricitätsmenge beider Kugeln, so wird sie in den folgenden Zeittheilen desto schneller zunehmen, je gröfser diese Menge ist. Das wirklich gefundene p ist ein Mittelwerth aller Werthe dieser Gröfse während der Beobachtungszeit, und mufs daher von der Gröfse der angewandten Elektricitätsmenge abhangen. Diese Abhängigkeit ist keinem einfachen Gesetze unterworfen; die elektrisirte Luftmasse giebt ihre Elektricität ab an den Aufhängedrath, an die Metallscheibe des Torsionskreises und an die Glaswände der Wage. Die an die Metalltheile übergegangene Elektricität verliert sich durch Zerstreuung in die äufsere Luft, die an dem Glase haftende wird durch die an der äufseren Glasfläche erregte Influenzelektricität gröfstentheils unwirksam. Die im Innern der Wage eingeschlossene Luftmasse verliert daher in wenigen Minuten den gröfsten Theil ihrer Elektricität, und auch während dieser Zeit ist ihr elektrischer Zustand nach den Umständen sehr veränderlich. Be-

Digitized by Google

stimmt bleibt nur die Verknüpfung der gröfseren Elektrici- [120]
tätsmenge mit einem gröfseren p, während das Verhältnifs dieser Gröfse zu der Elektricitätsmenge bedeutenden Schwankungen unterliegt. Durch den schnellen Elektricitätsverlust der eingeschlossenen Luft wird es erklärlich, dafs eine Messung in der Torsionswage auf eine nachfolgende einen nur geringen Einflufs ausübt, wenn auch nur wenige Minuten zwischen beiden liegen. Doch ist dieser Einflufs zu erkennen, wenn die Messungen schnell auf einander folgen. Das Verhältnifs zweier p, die mit verschiedenen Elektricitätsmengen bestimmt werden, ist dann immer gröfser, wenn die schwächere Menge vor der stärkeren in der Wage sich befindet, als im anderen Falle. Aus gleichem Grunde ist dies Verhältnifs gröfser, wenn man die stärkere Elektricitätsmenge durch Ableitung sogleich auf die schwächere bringt, als wenn man dieselbe durch, längere Zeit dauernde, Zerstreuung in der Wage bis zur schwächeren Menge sinken läfst. Es folgt hieraus, dafs zwar die Elektrisirung der Luft der Wage, welche einer Beobachtung vorangegangen ist, einen Einflufs auf die Beobachtung ausübt, dieser Einflufs aber gegen den während der Beobachtung selbst stattfindenden stets unerheblich bleibt. Ich habe einige Versuche angestellt, um zu zeigen, dafs die Veränderlichkeit des p wesentlich nur von der Gröfse der Elektricitätsmenge, und nicht von der des Torsionswinkels abhängt. Hierbei wurde die Elektricitätsmenge des Wagebalkens und der Prüfungskugel nicht geändert, und die verschiedene Torsion durch veränderte Stellung der Prüfungskugel in der Wage herbeigeführt. Diese Kugel blieb dabei in derselben Entfernung (nahe 2 Zoll) von der Glaswand der Wage.

Zeit.	Intervall.	Torsion.	p
9h 29′ 50″		177,3	
33 57	4,1	167,3	70,6
Die Prüfungskugel vom Wagebalken entfernt.			
48 37		645	
50 53	2,3	625	73,0

In einem andern Versuche:

11h 22 37		103,7	
24 57	2,3	98,7	46,5

Digitized by Google

[120]

Zeit.	Intervall.	Torsion.	p
	Prüfungskugel d. Wagebalken genähert.		
11h 33′ 28″		365	
35 52	2,4	345	42,6
	Von demselben entfernt.		
44 20		69	
47 27	3,1	64	41,2
	Demselben genähert.		
55 0		211,5	
59 5	4,1	191,5	41,3
In einem dritten Versuche:			
9 59 18		123	
10 3 48	4,5	113	53,1
	Die Kugel dem Balken genähert.		
10 45		443	
12 57	2,2	423	47,6
	Der Kugel Elektr. genommen.		
21 18		180,3	
23 23	2,1	170,3	36,8

Nur bei der letzten Messung entspricht die kleinere Torsion der geringeren Elektricitätsmenge und daher ist p dafür am kleinsten, während bei den übrigen Messungen, wo die Torsionen zumeist durch die Stellung des Prüfungskörpers verändert wurden, die Gröfse p nicht von der Torsion abhängt.

Die Veränderlichkeit der Gröfse p kann die Messungen in der Torsionswage mit gepaarten Prüfungskörpern nicht beeinträchtigen. Die beiden Prüfungskörper haben gleiche Stiele, eine gleiche Stellung in der Wage, und werden, während der Zerstreuung der Elektricität, gleichen Einwirkungen ausgesetzt. (Steht die Wage einem Fenster nahe, so mufs auch die Glasglocke, welche den zweiten Prüfungskörper enthält, ans Fenster gesetzt werden.) Die Gröfse p, an dem zuletzt in die Wage gebrachten Prüfungskörper bestimmt, wird nur für diesen angewendet, und zwar für eine Elektricitätsmenge, die nur wenig gröfser ist, als die auf dem Körper noch vorhandene. Der einzige Fehler der Messung entspringt aus der Zerstreuung an beiden Prüfungskörpern während der Zeit, die zwischen dem Einbringen des ersten Körpers in die Wage und der vollendeten ersten Messung verfliefst, weil sich als-

Digitized by Google

dann die Körper in abgesperrten Lufträumen mit verschiedenen [120]
Elektricitätsmengen befinden, und man mufs daher diese Zeit möglichst abkürzen.

Unabhängigkeit der elektrischen Anordnung von der Masse des Leiters.

Wir haben §. 20 gesehen, dafs wenn man einen elektri- 121
sirten Körper mit einem Leiter berührt, der letztere elektrisch wird, und der elektrische Zustand des ersteren abgenommen hat. Sind beide Körper an Form, Dimensionen und Stoff gleich, so zeigt nach der Berührung jeder von ihnen eine gleiche Elektricitätsmenge. Es ist dies aber auch der Fall, wenn der Stoff beider Körper verschieden ist, wie Coulomb durch folgende Versuche ausgemacht hat[1]). Zur Standkugel der Torsionswage wurde eine massive Kupferkugel von 8 Linien Durchmesser genommen, und diese mit der Kugel des Wagebalkens gemeinschaftlich elektrisirt. Nachdem der Torsionskreis um 120 Grade gedreht war, kam der Wagebalken bei der Elongation 28° zur Ruhe. Die kupferne Standkugel wurde nun mit einer gleichgrofsen Kugel aus Hollundermark berührt; hierdurch war ihre Elektricität so vermindert, dafs der Torsionskreis bis 44° zurückgedreht werden mufste, damit der Wagebalken seinen früheren Stand einnehmen konnte. Um die Elektricitätsmengen der Standkugel vor und nach der Berührung, die mit q und q' bezeichnet werden, zu finden, hat man die Formel (1.) §. 88 anzuwenden. Der Versuch liefert die Zahlenwerthe:

Elongation $r = 28$ Torsion vor der Berührung $t = 120$
nach - - $t' = 44$

Da nun
$$Qq = A_1 (r + t)$$
$$Qq' = A_1 (r + t')$$

so hat man das Verhältnifs der Elektricitätsmengen der Standkugel nach und vor der Berührung

$$\frac{q'}{q} = \frac{72}{148} = \frac{1}{2{,}05}$$

nur wenig kleiner als $\frac{1}{2}$.

[1]) *Mém. de l'Acad. Par.* 1786.* 69.

Digitized by Google

[121] Die zweite Ablesung des Torsionswinkels ist 1 Minute nach der ersten gemacht, wodurch die Abweichung des Resultates von $\frac{1}{2}$ erklärt wird, da die Elektricität der Kugel durch Zerstreuung während dieser Zeit vermindert worden ist. Man sieht daraus, dafs die Hollundermarkkugel der Kupferkugel die Hälfte ihrer Elektricitätsmenge entzogen hat, gerade wie es eine Kupferkugel gethan haben würde.

122 Einen zweiten Versuch stellte Coulomb an, indem er an die Stelle der Standkugel in der Wage eine verticale Eisenscheibe von 10 Linien Durchmesser setzte, deren Mittelpunkt von der Kugel des Balkens berührt wurde. Nachdem Kugel und Scheibe elektrisirt waren, nahm der Balken durch den Torsionswinkel von 110° die Elongation 30° ein. Die Eisenscheibe wurde hierauf mit einer ihr an Durchmesser gleichen Papierscheibe berührt, wonach ein Torsionswinkel von 40° die frühere Stellung des Balkens herstellte. Das Verhältnifs der Elektricitätsmengen der Eisenscheibe vor und nach der Berührung wird hieraus wie früher berechnet. Man hat

$$r = 30 \quad t = 110 \quad t' = 40$$

das gesuchte Verhältnifs $\frac{q'}{q} = \frac{70}{140} = \frac{1}{2}$

Die Papierscheibe hat also der Eisenscheibe dieselbe Menge Elektricität entzogen, als wenn sie selbst aus Eisen bestanden hätte.

Zwischen Kupfer und Hollundermark, zwischen Eisen und Papier besteht hinsichtlich der Masse und der physikalischen Eigenschaften eine grofse Verschiedenheit, und es läfst sich daher aus den mitgetheilten Versuchen schliefsen, dafs die Anordnung der Elektricität auf Leitern unabhängig von der Masse und Materie der Leiter sei. Es kann dies von den Körpern überhaupt und nicht allein von Leitern behauptet werden (wie denn in dem zweiten Versuche Papier nicht mehr zu den guten Leitern zu zählen ist); nur wird, da die Verbreitung der Elektricität über einen Körper desto schwerer von statten geht, je weniger leitend der Körper ist, diese Anordnung auf einem Isolator erst nach langer Zeit vollständig geschehen sein, wobei der Versuch bei der fortwährenden Zerstreuung der Elektricität weniger schlagend ausfallen kann.

Digitized by Google

Die Elektricität verbreitet sich nach dem Vorhergehenden 123
über Körper gleicher Form und Gröfse in ganz gleicher Weise, wenn auch die materielle Dichte der Körper verschieden ist. Es ist dies Folge der Eigenschaft der Elektricität, nur an der Oberfläche der Körper in Ruhe zu kommen, und im Zustande des Gleichgewichtes die im Innern liegenden Massentheilchen gänzlich unelektrisch zu lassen. In Bezug auf den Gleichgewichtszustand der Elektricität ist es völlig gleichgültig, ob der Leiter, auf dem sie sich befindet, hohl oder massiv ist. Man überzeugt sich hiervon leicht, wenn man die Standkugel der Torsionswage mit einer massiven Kugel berührt, und mit einer hohlen aus dem dünnsten Metallbleche gefertigten Kugel gleicher Gröfse, wo die Messung einen gleichen Verlust an Elektricität angiebt, den die Standkugel durch jede der Kugeln erfahren hat. Der Unterschied des Gewichtes der beiden elektrisch gleichgeltenden Kugeln kann sehr grofs sein. Achard[1]) gebrauchte zu einem solchen Versuche einen hohlen Metallcylinder von 15 Loth Gewicht, den er später mit 5 Pfund Blei ausgofs, und überzeugte sich, dafs der Cylinder vor und nach der Ausfüllung einem elektrisirten Conductor durch Berührung dieselbe Menge Elektricität entzog. Früher schon hatten le Roi und d'Arcy gezeigt, dafs eine Kugelschale von einem geladenen Conductor genau dieselbe Elektricitätsmenge aufnahm, jene mochte leer sein oder durch hineingegossenes Quecksilber eine 60mal gröfsere Masse erhalten haben[2]). Ohne Messung läfst sich jene merkwürdige Eigenschaft der Elektricität durch einen lehrreichen Versuch aufzeigen, den Franklin[3]) angegeben hat. Man isolirt einen hohlen Metallkörper, der oben eine Oeffnung hat, und versenkt in ihn eine an einer Seidenschnur hängende Metallkette. Franklin gebrauchte eine silberne Theekanne und eine Kette von 9 Fufs Länge. Ist der Körper elektrisirt, so dafs zwei an ihm hängende elektrische Pendel stark divergiren, und zieht man die Kette an der Schnur aus der Höhlung heraus, so fallen die Pendel mehr

[1]) *Mém. de l'Acad. de Berlin.* 1780.* 47.
[2]) *Mém. de l'Acad. de Par.* 1749. 71. — *éd.* in-12.* 111.
[3]) *Exper. and observat.* 5*th. ed.* 129.

Digitized by Google

[123] und mehr zusammen, gehen aber bis zur früheren Divergenz auseinander, wenn die Kette wieder in die Höhlung hinab gelassen wird. Es zeigt sich hierdurch, dafs von der Kette nur der Theil elektrisch wird, der sich aufserhalb der Höhlung des elektrisirten Körpers befindet; je länger dieser Theil wird, je mehr nimmt die Elektricität jenes Körpers ab.

124 Ganz ähnlich, nur umständlicher, ist ein von Biot[1]) angegebener Versuch. Auf einem um eine Glasaxe drehbaren Cylinder aus Messingblech ist ein dünnes Metallblatt in mehreren Windungen aufgerollt, an dessen Ende eine Seidenschnur befestigt ist. Man elektrisirt den Cylinder, so dafs zwei mit ihm verbundene elektroskopische Pendel divergiren; diese Divergenz nimmt ab, wenn man das Metallblatt von dem Cylinder abrollt, und nimmt wieder zu, wenn man mittels Drehung der Axe durch eine Kurbel das Blatt aufrollt. An dem aufgerollten Metallblatte ist nämlich nur die äufserste Windung elektrisch, während sich die Elektricität über das ganze ausgespannte Blatt verbreitet, wenn es abgerollt ist. Magnus hat den Apparat zu diesem Versuche vereinfacht. Derselbe hängt (Fig. 34.) einen Metallcylinder mit zwei cylindrischen Fortsätzen an Seidenschnüren auf, und bringt die elektrischen Pendel an dem äufsersten Ende des Metallblattes an. Wickelt man das Blatt durch Zug der Seidenschnur *ff* ab, so rollt der Cylinder an den Aufhängeschnüren in die Höhe, und rollt zurück, wenn man mit dem Zuge nachläfst. Hier also wird das Metallblatt durch das Gewicht des Cylinders aufgerollt, was Biot durch Drehung der Glasaxe des Cylinders bewirkte.

125 Die Unwirksamkeit eines elektrisirten Leiters auf die in seinem Innern gelegenen Theile ist die merkwürdigste Eigenschaft der ruhenden Elektricität, und hat, wie wir später sehen werden, den Ansatz der Rechnung geliefert, nach welcher die Anordnung der Elektricität auf Leitern zu bestimmen ist. Es mögen deshalb noch die übrigen Versuche hier stehen, durch die man sich von dieser Eigenschaft überzeugt hat, und die theils leicht zu wiederholen, theils von historischem Interesse sind.

---

[1]) *Traité de phys.* 2. 279.

Digitized by Google

Franklin liefs in eine elektrisirte Kanne eine an einem [125]
Seidenfaden hängende Korkkugel hinab, und fand diese, obgleich sie die innere Oberfläche der Kanne berührt hatte, nach dem Herausziehen völlig unelektrisch. Coulomb[1]) wiederholte diesen Versuch mit feinerem Meſswerkzeuge (dem Torsionselektroskope). In einen Holzcylinder von 4 Zoll Durchmesser wurden mehrere Löcher von 4 Linien Durchmesser gebohrt. Nachdem der Cylinder isolirt und elektrisirt war, wurde er an verschiedenen Stellen mit einem Scheibchen von Goldpapier von $1\frac{1}{2}$ Linien Durchmesser berührt, das an einem Stiele aus Schellack befestigt war. Hatte die Berührung an der äuſseren Oberfläche des Cylinders stattgefunden, so zeigte die Prüfungsscheibe am Elektroskope starke Elektricität, aber keine Spur davon, wenn die Scheibe den Boden der Löcher berührt hatte. Entscheidender zeigte Coulomb[2]) die Verbreitung der Elektricität über die Oberfläche der Körper durch folgenden Versuch. Ein runder Leiter wurde mit einer leitenden Hülle versehen, die, aus zwei Stücken bestehend, an isolirenden Handhaben abgezogen werden konnte. Nachdem der verhüllte Leiter elektrisirt war, und man sich von seiner Elektricität überzeugt hatte, wurde die Hülle abgenommen, und liefs den Leiter fast ganz unelektrisch zurück.

Priestley[3]) brachte ein Paar elektroskopische Pendel 126
in einen isolirten zinnernen Becher, den er auf das stärkste elektrisirte. Die Pendel blieben unbewegt, aus welcher Erscheinung Priestley richtig auf das (damals noch nicht aufgezeigte) Gesetz der Elektricität schlofs, nach dem umgekehrten Quadrate der Entfernung zu wirken. Dieser Versuch ist in neuester Zeit von Faraday[4]) in grofsem Maafsstabe wiederholt worden. Es wurde ein kubisches Zimmer von 12 Fufs

[1]) *Mém. de l'Acad. Par.* 1786.* 73.

[2]) *Mém. de l'Acad. Par.* 1788.* 620.

[3]) *History of Electricity.** *Lond.* 1767. *p.* 732.

[4]) *Experimental researches in electricity.** *Lond.* 1839. *alinea* 1173.
Die einzelnen Abhandlungen, die unter diesem Titel in 2 Bänden zusammen abgedruckt sind, finden sich sonst in den *phil. transact.* 1832 folg. und übersetzt in Poggend. Ann. Bd. 25 folg. Siehe Registerband zu den Annalen 1845. S. 25.

Digitized by Google

[126] Seite aus Latten gebaut, dessen Wände aus Drathgeflecht und Papier bestanden, und an seidenen Schnüren in einem grofsen Saale aufgehängt. Durch Verbindung mit dem Conductor einer kräftigen Elektrisirmaschine konnte dies Zimmer elektrisirt werden. Faraday begab sich in das Zimmer, konnte aber an den empfindlichsten Elektroskopen keine Elektricität bemerken, während die Wände so stark elektrisirt waren, dafs sie nach Aufsen Funken und Feuerbüschel ausströmten. Hier war also in einer Luftmasse, die von allen Seiten in eine elektrisirte Hülle eingeschlossen war, keine Elektricität zu finden. Eben so wenig konnte sie in einem andern flüssigen Isolator entdeckt werden, der von einer leitenden elektrisirten Hülle umgeben war. Faraday gofs Terpenthinöl in einen Metallkessel, konnte in dem Oele aber keine Elektricität entdecken, nachdem das Gefäfs elektrisirt worden war.

Aus allen hier beigebrachten Versuchen geht demnach unzweifelhaft hervor, dafs die Anordnung der Elektricität auf Leitern gänzlich unabhängig ist von der Masse und dem Stoffe des Leiters, und dafs in dieser Hinsicht von jedem Körper nur seine äufsere leitende Oberfläche in Betracht zu ziehen ist.

Anordnung der Elektricität auf einfachen Leitern.

127 Berührt man eine elektrisirte möglichst frei stehende Kugel mit der Prüfungsscheibe, und bringt letztere in die Torsionswage, so giebt die Messung eine gleiche Elektricitätsmenge, welche Stelle auch der Kugel berührt worden war. Hat der elektrisirte Körper nicht Kugelgestalt, so ist die Elektricitätsmenge der Prüfungsscheibe je nach der berührten Stelle im Allgemeinen verschieden. Da nun die Prüfungsscheibe eine, mit der an der berührten Stelle vorhandenen, proportionale Elektricitätsmenge besitzt (§. 112.), so lehrt diese Erfahrung, dafs an jedem nicht kugelförmigen Leiter die Elektricität sich ungleichmäfsig anordnet. In der Einleitung (§. 46.) ist das Verhältnifs der Elektricitätsmenge zur Fläche, auf der sie sich befindet, *elektrische Dichtigkeit* der ganzen Fläche genannt worden, und diese Dichtigkeit gab die Elektricitätsmenge auf

Digitized by Google

jedem beliebigen der Flächeneinheit gleichen Stücke. Bei ungleichmäfsiger Anordnung, ist die Elektricitätsmenge nicht auf jedem gleichen Flächenstücke dieselbe, man hat daher die elektrische Dichtigkeit einzelner bestimmt gelegener Stellen der Fläche zu unterscheiden, die durch die Elektricitätsmenge, welche eine bestimmte Prüfungsscheibe aufnimmt, gemessen wird. Allein auch in diesem Falle betrachtet man ferner die Dichtigkeit der ganzen gegebenen Fläche, die man zum Unterschiede *mittlere elektrische Dichtigkeit* nennt, und die, wie früher, durch das Verhältnifs der ganzen Elektricitätsmenge zur Ausdehnung der Fläche bestimmt ist. Die ganze Elektricitätsmenge des Leiters wird durch directe oder indirecte Messung (§. 110.) leicht gefunden. [127]

Elektrisirt man einen von der Kugelgestalt abweichenden Leiter, z. B. ein längliches Ellipsoid, und untersucht die elektrische Dichtigkeit zweier sehr von einander unterschiedenen Stellen, z. B. der Enden der grofsen und kleinen Axe, mehremal nach längeren Pausen, so findet man das Verhältnifs dieser Dichtigkeiten constant, obgleich die Werthe einer Dichtigkeit, der Zerstreuung wegen, fortwährend abnehmen. Ebenso ist das für zwei Stellen einmal gefundene Verhältnifs gültig bei jeder anderen Elektrisirung des Leiters. Die Dichtigkeit einer Stelle eines Leiters ist daher stets der mittleren Dichtigkeit des ganzen Leiters proportional, und man hat bei der Bestimmung des Dichtigkeitsverhältnisses einzelner Stellen keine Rücksicht zu nehmen auf die Elektricitätsmenge, die der ganze Leiter empfangen hat. Der Elektricitätsverlust des Leiters durch die Zerstreuung kommt nur dadurch zur Sprache, dafs die Berührungen mit der Prüfungsscheibe gewöhnlich nach einander angestellt werden, und um vergleichbar zu sein, auf denselben Zeitpunkt reducirt werden müssen. Es geschieht diese Reduction durch die früher gegebenen Formeln §. 96 und in speciellen Fällen durch die alternirende Bestimmung (§. 114.). Da überall bei den hier vorkommenden Untersuchungen Dichtigkeiten mit einander verglichen werden, die mit derselben Prüfungsscheibe bestimmt sind, so hat man die Ausdehnung dieser Scheibe zur Flächeneinheit zu nehmen, wo dann die Dichtigkeiten unmittelbar durch die aufgenommenen Elektrici- [128]

Digitized by Google

[128] tätsmengen gemessen werden. Die Scheibe mufs stets so klein in Bezug auf die zu untersuchende Oberfläche gewählt werden, dafs die an der berührten Stelle stattfindende Dichtigkeit merklich constant gesetzt werden darf.

129 Ueber die Anordnung der Elektricität auf einfachen Leitern hat Coulomb einige Messungen angestellt, die zum Theil erst aus seinen hinterlassenen Manuscripten publicirt worden sind. —

Cylinder mit kugelförmigen Endigungen. Es wurde ein Metallcylinder von 2 Zoll Dicke und 30 Zoll Länge elektrisirt, der an seinen Enden durch Halbkugeln geschlossen war [1]). Coulomb prüfte zuerst die Mitte des Cylinders mittels der Prüfungsscheibe, sodann eine andere Stelle, und zuletzt wiederum die Mitte. Die Messungen der Elektricitätsmengen der Prüfungsscheibe in der Torsionswage und die Vergleichung der zweiten Messung mit dem Mittel der ersten und dritten, ergaben folgende Verhältnisse der elektrischen Dichtigkeiten an verschiedenen Stellen des Cylinders:

	El. Dichtigkeit.
Mitte	1,
zwei Zoll vom Ende	1,25
ein Zoll vom Ende .	1,80
am Ende	2,30

Diese Dichtigkeiten gelten begreiflicherweise für jedes Ende und für jeden Gürtel des Cylinders, dessen Lage gegen das Ende angegeben ist. Man sieht, dafs auf einem Cylinder mit Kugelendigungen die elektrische Dichtigkeit auf dem mittleren Gürtel am kleinsten ist, und von da nach beiden Seiten bis zu den Endpunkten auf den Kugelflächen zunimmt. Diese Zunahme ist noch bei weitem stärker auf einem Ellipsoide, das durch Umdrehung einer Ellipse um die grofse Axe entstanden ist, und zwar um desto stärker, je mehr die grofse Axe die kleine an Länge übertrifft.

130 Scheibe. Auf einem kreisförmigen Kupferbleche von 10 Zoll Durchmesser fand Coulomb [2]) folgende elektrische

[1]) *Mém. de l'Acad. Par.* 1788.* 628.
[2]) *Biot Traité.** 2.276.

Digitized by Google

Dichtigkeiten in verschiedenen Entfernungen vom Rande. Die [130]
Messungen geschahen mittels einer kleinen Scheibe oder Kugel.

	Elektr. Dichtigkeit.
Mittelpunkt, 5 Zoll vom Rande.	1,
4 - - -	1,001
3 - - -	1,005
2 - - -	1,17
1 - - -	1,52
0,5 - - -	2,07
am Rande	2,90

Auch hier nimmt die elektrische Dichtigkeit von der Mitte bis zum Rande, und zwar vom Einfachen bis nahe Dreifachen zu. Es wird angegeben, dafs dieselben Verhältnisse der elektrischen Dichtigkeiten auch für gröfsere Scheiben gelten, bei welchen also, wenn die Einheit der elektrischen Dichtigkeit 5 Zoll vom Rande (wo dann aber nicht der Mittelpunkt der Scheibe liegt) gesetzt wird, die elektrische Anordnung wie hier bis zum Rande fortschreitet.

Rectanguläre Platte. Die elektrischen Dichtigkeiten 131
auf einer Stahlplatte von 11 Zoll Länge, 1 Zoll Breite und $\frac{1}{2}$ Linie Dicke untersuchte Coulomb mit einer Prüfungsplatte von 1 Zoll Länge und 3 Linien Breite, welche also die Stahlplatte in ganzer Breite berührte. Hier finden sich die einzelnen Beobachtungen angegeben, die zur ferneren Erläuterung des Verfahrens der abwechselnden Messung vollständig mitgetheilt werden mögen. Die beobachteten totalen Torsionen geben unmittelbar die elektrischen Dichtigkeiten der berührten Stellen an.

Untersuchte Stelle.	Torsion.	Mittlere Torsion. Mitte.	Mittlere Torsion. 1 Zoll v. Ende.	Verhältnifs der Dichtigkeit beider Stellen.
Mitte	370			
1 Zoll vom Ende	440	360	440	1,22
Mitte	350	350	417,5	1,19
1 Zoll vom Ende	395	335	395	1,18
Mitte	320			
			Mittel	1,20

In der mittleren Zone der Platte und in der 1 Zoll vom Ende entfernten, sind die elektrischen Dichtigkeiten daher fast gleich. In den folgenden Versuchen wurde die Prüfung der äufsersten Zone der Platte vorgenommen.

Digitized by Google

[131]

Untersuchte Stelle.	Torsion.	Mittlere Torsion. Mitte.	Ende.	Verhältnifs beider Dichtigkeiten.
Ende	400			
Mitte	195	195	395	2,02
Ende	390	190	390	2,05
Mitte	185	185	370	2,00
Ende	350			
			Mittel	2,02

In der Endzone der Platte ist die elektrische Dichtigkeit zweimal so grofs, als in der mittleren Zone.

Zuletzt wurde die Prüfungsplatte an das Ende selbst der Stahlplatte angelegt, so dafs sie eine Verlängerung derselben bildete.

Untersuchte Stelle.	Torsion.	Mittlere Torsion. Mitte.	Verlängerung.	Verhältnifs beider Dichtigkeiten.
Mitte	305			
Verlängerung	1175	295	1175	3,98
Mitte	285	285	1156	4,05
Verlängerung	1137			
			Mittel	4,01

Man lernt hieraus, dafs auf einer leitenden rectangulären Platte von der Mitte bis zu einem Zoll Entfernung von jedem Ende die elektrische Dichtigkeit beinah constant bleibt, von da an sehr schnell zunimmt, so dafs sie in der Endkante das Vierfache der Dichtigkeit der Mitte erreicht. Dies Resultat gilt auch für Platten gröfserer Länge, wovon sich Coulomb eigens an einer 22 Zoll langen Platte überzeugte.

132 Elektrische Anordnung auf dem Würfel. Zu dieser Untersuchung benutzte ich[1]) einen Messingwürfel von nahe 37 pariser Linien Seite, der isolirt und durch eine geladene leydener Flasche elektrisirt war. Auf der Diagonale einer Fläche und auf der vom Mittelpunkte nach einer Kante gezogenen Normalen wurden einige Punkte bezeichnet (Fig. 35.) *d* und *e* 13, *b* und *c* 15, *a* und *f* 18½ Linien von dem Mittelpunkte der Fläche entfernt. Zur Messung der Dichtigkeiten wurden gepaarte Prüfungskugeln benutzt (§. 116.). Die Kugeln wurden gleichzeitig an den Mittelpunkt und an einen der

[1]) Abhandlungen d. Akad. d. Wissensch. zu Berlin. 1844. phys. Kl.* S. 9.

Digitized by Google

bezeichneten Punkte angelegt, und das Verhältniſs der elektri- [132]
schen Dichtigkeit jedes Punktes zu der des Mittelpunktes bestimmt. Zur Controle wurde auch das Verhältniſs der Dichtigkeit zweier Punkte direct bestimmt. Die Messungen der Dichtigkeit auf der scharfen Kante und Ecke des Würfels haben mit denen auf der Fläche nicht gleiche Genauigkeit, theils der stets mangelhaften Beschaffenheit dieser Stellen wegen, theils deshalb, weil die Proportionalität der daselbst aufgenommenen zu der vorhandenen Elektricitätsmenge nicht erwiesen ist. Ich will einige Messungen vollständig mittheilen, um die Sicherheit der Beobachtung beurtheilen zu lassen. Wo das Dichtigkeitsverhältniſs durch Ein Glied bezeichnet ist, ist es auf die Dichtigkeit des Mittelpunktes $= 1$ bezogen.

Geprüfte Stelle.	Prüfungskugel.	Zeitintervall.	Torsionen, beobacht.	Torsionen, berechn.	Dichtigkeit der Ecke.
Mitte der Fläche	4		60°	172,8	2,88
Würfel-Ecke	3	3',5	161		
	—	3,5	150		
Mitte	3		61	180,7	2,96
Ecke	4	2,8	172		
	—	3,1	162		
Mitte	4		64	183,9	2,87
Ecke	3	3,8	173		
	—	3,7	163		
Mitte	3		79	232,6	2,94
Ecke	4	3	221		
	—	3	210	Mittel	2,91

Die Prüfungskugel wurde an die Spitze des Würfels angelegt:

					Dichtigkeit der Spitze.
Mitte der Fläche	4		71	299	4,21
Spitze	3	2,8	278		
	—	1,4	268		
Mitte	3		80	337	4,21
Spitze	4	4	313		
	—	2,3	300		
Mitte	4		68	289,5	4,25
Spitze	3	2,7	272		
	—	2,8	255		
Mitte	3		74	311,4	4,21
Spitze	4	3	289		
	—	2	275	Mittel	4,22

Digitized by Google

133 Als die Prüfungskugel auf die Würfelfläche, $\frac{1}{4}$ Linie von der Mitte der Kante entfernt, gesetzt wurde, ergaben sich die elektrischen Dichtigkeiten dieser Stelle 2,04 1,99 2,11 2,00 im Mittel 2,03; hingegen auf der Mitte der scharfen Kante 2,48 2,38 2,40 2,42 im Mittel 2,42. Für den Punkt *a* der Diagonale wurde die Dichtigkeit 1,45 gefunden, für den Punkt *b* 1,26; der mit *b* in gleicher Entfernung vom Mittelpunkte liegende Punkt *c* der Normalen hatte die Dichtigkeit 1,38, so dafs das Verhältnifs $\frac{c}{b} = 1{,}09$. Zur Controle wurden die Prüfungskugeln gleichzeitig an *c* und *b* angelegt.

	Kugel.	Intervall.	Torsionen, beobacht.	berechn.	$\frac{c}{b}$
Punkt *b*	3		116	125,6	1,08
Punkt *c*	4	3,7	115		
	—	3,8	105		

Die Dichtigkeit des Punktes *d* wurde 1,25, die von *e* gleich grofs (1,24) gefunden, die Controle gab $\frac{d}{e} = 1{,}01$.

134 Durch diese Bestimmungen erhält man die Anordnung der Elektricität auf dem Würfel, die in Fig. 35 übersichtlich dargestellt ist. Auf der Diagonale wie auf der Normallinie nimmt die Dichtigkeit vom Mittelpunkte an fortwährend zu, aber in verschiedenem Verhältnisse. Bis zu einer Entfernung von der Mitte, die $\frac{1}{4}$ der ganzen Diagonale beträgt, nimmt die Dichtigkeit sehr langsam, und zwar auf beiden Linien gleichmäfsig zu, so dafs sie an beiden Endpunkten $1\frac{1}{4}$ ist, während sie im Mittelpunkte 1 beträgt. Dies wird auf allen Radien, die zwischen den beiden Linien liegen, der Fall sein. Denkt man sich daher von der Mitte aus eine Kreisfläche aus der Würfelfläche geschnitten, deren Durchmesser der halben Diagonale gleich ist, so nimmt auf dieser die elektrische Dichtigkeit, wie auf einer Scheibe, gleichmäfsig vom Mittelpunkte auf allen Radien zu. Weiterhin ist die Zunahme auf der Normallinie stärker, als auf der Diagonale; bei derselben Entfernung vom Mittelpunkte (15 Linien) ist die Dichtigkeit auf der Normalen 1,38, auf der Diagonale 1,26; und $18\frac{1}{2}$ Linien: auf der ersteren 2,03, auf der letzteren nur 1,45. In der Richtung der Diagonale nimmt die Dichtigkeit weiter bis zur Ecke zu, wo

Digitized by Google

sie den Werth 2,91 erreicht. Die Prüfungskugeln, auf die [134]
Mitte der scharfen Kante und auf die Würfelspitze gesetzt, erhielten respective die Dichtigkeiten 2,42 und 4,22. Es braucht wol kaum hinzugefügt zu werden, dafs bei vollkommener Isolirung des Würfels, dieselbe Anordnung der Elektricität für jede Fläche gilt.

Anordnung der Elektricität auf zusammengesetzten Leitern.

Setzt man zwei oder mehrere Leiter von einfacher Form 135
mit einander in Berührung, so erhält man einen zusammengesetzten Leiter, der als Ganzes elektrisirt, und dessen elektrische Dichtigkeit an verschiedenen Stellen mit der Prüfungsscheibe untersucht werden kann. Aufserdem kann man noch die einzelnen Theile des Leiters nach der Elektrisirung von einander trennen, und falls sie Kugeln oder Scheiben sind, ihre mittlere elektrische Dichtigkeit auf die früher angegebene Weise bestimmen. Hierdurch erfährt man das Verhältnifs der mittleren elektrischen Dichtigkeiten der Theile und, da die Oberflächen dieser Theile auszumessen sind, die Elektricitätsmenge, welche jeder Theil von der dem ganzen Leiter gegebenen Elektricität aufgenommen hat. Diese Untersuchungen sind praktisch sehr wichtig, denn theils bestehen alle elektrischen Apparate aus zusammengesetzten Leitern, theils kommen die messenden Versuche über die ins Gleichgewicht gekommene Elektricität auf die Trennung in Gemeinschaft elektrisirter Leiter hinaus. So habe ich oben bei der Beschreibung der Prüfungsscheibe einen hierher gehörigen Versuch (§. 112.) vorweg nehmen müssen. Aber auch von theoretischer Wichtigkeit sind diese Versuche geworden, da sie zur Prüfung einer Rechnung gedient haben, durch die Poisson die Anordnung der Elektricität auf Leitern dargestellt hat. Ich werde bei der Mittheilung der Ergebnisse dieser Rechnung einige der Versuche wieder mit anführen, die ich hier vollständig folgen lasse. Wir verdanken diese Versuche dem Scharfsinne und der Geschicklichkeit Coulomb's.

Digitized by Google

Anordnung der Elektricität auf Kugelreihen.

136 **Mittlere Dichtigkeit auf zwei einander berührenden Kugeln.** Coulomb[1]) wendete hier die grofse Torsionswage mit quadratischem Kasten an (§. 61.); eine Kugel von 6 Zoll 3 Linien Peripherie wurde elektrisirt in die Wage gebracht. Nachdem die Elektricitätsmenge der Kugel gemessen war, wurde letztere mit einer Kugel von 24 Zoll Peripherie in Berührung gesetzt, und ihre Elektricitätsmenge wiederum gemessen. Hierdurch ergab sich die Elektricitätsmenge, welche bei der Berührung auf die gröfsere Kugel übergegangen war, und das Verhältnifs der mittleren Dichtigkeit beider Kugeln während der Berührung. Folgende sind die beobachteten totalen Torsionen, von welchen je zwei der Elektricitätsmenge der kleinen Kugel vor und nach der Berührung proportional sind. Der Unterschied beider Mengen giebt die auf die grofse Kugel übergegangene Elektricitätsmenge an, wonach in der letzten Spalte das Verhältnifs der Elektricitätsmengen beider Kugeln bei der Berührung berechnet ist. Da je zwei Messungen nur 1 Minute dauerten, und der Zerstreuungscoefficient an dem Tage $\frac{1}{40}$ betrug, so ist an den Messungen keine Correction angebracht.

Totale Torsion vor der Berührung.	Totale Torsion nach der Berührung.	Elektricitätsmenge der grofsen Kugel.	Verhältnifs der Elektricitätsmengen d. grofsen u. kl. Kugel.
145	12	133	11,1
145	12	133	11,1
259	21	238	11,3
255	21	234	11,1
231	19	212	11,2

Die angewandte Elektricitätsmenge hat sich also zwischen die grofse und kleine Kugel in dem Verhältnisse 11,1 zu 1 vertheilt. Die mittlere Dichtigkeit jeder Kugel wird erhalten, wenn man ihre Elektricitätsmenge durch ihre Oberfläche dividirt. Es sei die Dichtigkeit der grofsen Kugel D, ihre Elektricitätsmenge Q, ihre Oberfläche S; d, q, s mögen dieselbe Bedeutung in Bezug auf die kleinere Kugel haben. Es ist

[1]) *Mémoires de l'Acad. Paris.* 1787.* 428.

Digitized by Google

$D = \frac{Q}{S}$ $d = \frac{q}{s}$ und daher das Verhältnifs der elektrischen [136]
Dichtigkeit der kleinen Kugel zu der der grofsen

$$\frac{d}{D} = \frac{qS}{Qs} \quad \ldots \quad (\text{I.})$$

Die Oberflächen von Kugeln verhalten sich wie die Quadrate ihrer Peripherieen, ist also P die Peripherie der grofsen, p die der kleinen Kugel, so ist $\frac{d}{D} = \frac{q}{Q} \cdot \left(\frac{P}{p}\right)^2$

Im vorliegenden Falle hat man

$$\frac{q}{Q} = \frac{1}{11,1} \quad \left(\frac{P}{p}\right)^2 = 14,74$$

daher

$$\frac{d}{D} = 1,33.$$

Die kleine Kugel besitzt also eine gröfsere elektrische Dichtigkeit, als die grofse.

In einem andern Versuche wurde eine Kugel von 6,2 Zoll 137
Peripherie mit einer andern von 11,5 Zoll Peripherie berührt. Die kleinere Kugel gab folgende Torsionen.

Totale Torsion vor der Berührung.	Totale Torsion nach der Berührung.	Elektricitätsmenge der gröfseren Kugel.	Dieselbe im Verhältnifs zu der d. kleineren.
170	42	128	3,05
169	41	128	3,12
			Mittel 3,08

Das Verhältnifs der Oberflächen der Kugeln war hier

$$\left(\frac{P}{p}\right)^2 = 3,42 \quad \text{ferner} \quad \frac{q}{Q} = \frac{1}{3,08} \quad \text{daher}$$

$$\frac{d}{D} = 1,11$$

Auch hier war also die elektrische Dichtigkeit der kleinen Kugel gröfser, als die der grofsen, aber nicht um so viel als im vorigen Versuche, wo das Verhältnifs der Oberflächen der Kugeln bedeutend gröfser war. Das Dichtigkeitsverhältnifs nähert sich hier schon der Einheit, die offenbar gefunden wird, wenn die beiden Kugeln gleich an Gröfse sind.

Statt der beschriebenen Methode wendete Coulomb auch 138
die gewöhnliche mittels der Prüfungsscheibe an, indem er die beiden Kugeln in Berührung elektrisirte, sie dann trennte, und durch die Scheibe ihre mittleren Dichtigkeiten bestimmte. Die Elektricitätsmengen werden dann, wo man sie zu kennen wünscht,

Digitized by Google

[138] durch Multiplication der Dichtigkeit mit der Oberfläche der Kugel gefunden. Sind die beiden Kugeln aber gar zu sehr an Gröſse verschieden, so giebt weder die eine noch die andere Methode hinreichende Genauigkeit. Wollte man nämlich nur die kleine Kugel elektrisiren, so würde sie nach der Berührung mit der groſsen Kugel eine sehr geringe Elektricitätsmenge behalten, die nicht genau genug zu bestimmen wäre. Die Prüfungsscheibe bei Flächen von sehr verschiedener Krümmung anzuwenden, ist ebenfalls miſslich. In solchem Falle wurden die Elektricitätsmengen beider Kugeln in folgender Weise bestimmt. Die groſse Kugel wurde gut isolirt und elektrisirt, Coulomb berührte sie mit der kleinen Kugel, und brachte diese in die Torsionswage, wo ihre Elektricitätsmenge gemessen wurde. Darauf entlud er die kleine Kugel, und berührte mit ihr wiederholt die groſse Kugel (z. B. n mal), indem nach jeder Berührung die kleine Kugel entfernt und vollständig entladen wurde. Nur nach der $n$ten Berührung blieb die kleine Kugel elektrisirt, wurde in die Wage gebracht und ihre Elektricitätsmenge bestimmt. Hiernach ist die Elektricitätsmenge zu berechnen, welche die kleine Kugel der groſsen bei jeder Berührung entzog.

139 Es sei E die Elektricitätsmenge, welche die groſse Kugel am Anfange besaſs, und m der Bruchtheil dieser Menge, welchen die kleine Kugel bei jeder Berührung empfing. Somit erhält man folgendes Schema:

	Elektricitätsmenge der kleinen Kugel.	der groſsen Kugel.
vor der Berührung	0	E
nach der ersten Berührung	$mE = A$	$(1-m)E$
zweiten -	$m(1-m)E$	$(1-m)^2E$
:	:	:
$n-1$ten -	$m(1-m)^{n-2}E$	$(1-m)^{n-1}E$
$n$ten -	$m(1-m)^{n-1}E = B$	$(1-m)^nE$

Das gesuchte Verhältniſs der Elektricitätsmenge der kleinen Kugel zu der der groſsen nach der ersten Berührung oder $\frac{m}{1-m}$ ist aus den beiden an der Torsionswage gemessenen Gröſsen A und B leicht zu berechnen. Man erhält aus

Digitized by Google

diese Gröfsen sogleich $1-m=\sqrt[n-1]{\frac{B}{A}}$ [139]

$$m=1-\sqrt[n-1]{\frac{B}{A}}$$

und das Verhältnifs der Elektricitätsmengen beider Kugeln nach der Berührung, das mit $\frac{q}{Q}$ bezeichnet worden,

$$\frac{q}{Q}=\frac{m}{1-m}=\sqrt[n-1]{\frac{A}{B}}-1$$

Dieser Werth ist in die Gleichung (I.) §. 136 einzusetzen, um danach das Verhältnifs der Dichtigkeiten beider Kugeln zu berechnen.

Ist der Zustand der Atmosphäre so gewesen, dafs zwi- 140
schen der Beobachtung von A und von B der Verlust an Elektricität durch Zerstreuung nicht zu vernachlässigen ist, so hat man noch eine Correction an dem letzten Ausdrucke anzubringen. Wir nahmen an, dafs die Elektricitätsmenge der grofsen Kugel vor der letzten Berührung $(1-m)^{n-1}E$ gewesen sei. Hat aber die Kugel seit der ersten Berührung den Theil ϱ ihrer Elektricitätsmenge verloren, so ist ihre Menge nur $(1-\varrho)(1-m)^{n-1}E$. Dies in den Werth für B eingesetzt giebt

$$m(1-m)^{n-1}E=\frac{B}{1-\varrho}$$

und demnach

$$\frac{q}{Q}=\frac{m}{1-m}=\sqrt[n-1]{\frac{(1-\varrho)A}{B}}-1$$

für das Verhältnifs der Elektricitätsmengen beider Kugeln nach einer Berührung. Ist endlich die Oberfläche der grofsen Kugel S, die der kleinen s, so hat man das Verhältnifs der Dichtigkeiten beider Kugeln

$$\frac{d}{D}=\frac{S}{s}\left(\sqrt[n-1]{\frac{(1-\varrho)A}{B}}-1\right)\ldots.\ (\text{II.})$$

Coulomb isolirte eine Kugel von 8 Zoll Durchmesser 141
und berührte sie mit einer Kugel von beinah 1 Zoll Durchmesser. Die kleine Kugel gab in der Wage eine Torsion von 244 Grad; nachdem sie die grofse Kugel 20mal berührt

Digitized by Google

[141] hatte, eine Torsion von 126, und endlich, nach weiteren 20 Berührungen, eine Torsion von 66 Grad. Der Elektricitätsverlust durch Zerstreuung während der Zeit, die zwischen zwei einander folgenden Messungen verging, betrug an dem Tage $\frac{1}{8}$. Aus den beiden ersten Messungen hat man daher die Zahlenwerthe

$$A = 244 \quad B = 126 \quad n = 21 \quad \varrho = \tfrac{1}{8}$$

Das Verhältnifs der Oberflächen der Kugeln $\frac{S}{s}$ war 62. Hieraus berechnet man das Verhältnifs der Elektricitätsmenge der kleinen Kugel zu der der grofsen

$$\frac{q}{Q} = 0{,}0268$$

und die elektrische Dichtigkeit der kleinen Kugel, wenn die der grofsen 1 gesetzt wird

$$\frac{d}{D} = 1{,}66$$

Legt man die zweite und dritte Messung zu Grunde, so hat man die Zahlenwerthe

$$A = 126 \quad B = 66 \quad n = 21 \quad \varrho = \tfrac{1}{8}$$

und findet

$$\frac{q}{Q} = 0{,}026 \quad \frac{d}{D} = 1{,}61$$

142 Aus diesem Beispiele folgt, dafs wenn zwei Kugeln einander berühren, deren Durchmesser in dem Verhältnisse 1 zu 8 stehen, nach der Trennung die elektrische Dichtigkeit der kleinen Kugel 1,63, die der grofsen 1 ist. Auch in den früheren Beispielen war die elektrische Dichtigkeit der kleineren Kugel gröfser als die der grofsen, aber in einem geringeren Verhältnisse als hier. Coulomb untersuchte noch eine Kugel von 2 Linien Durchmesser, mit der er die achtzöllige Kugel berührte, und fand ihre elektrische Dichtigkeit nahe doppelt so grofs, als die der grofsen Kugel. Hieraus schlofs er, dafs während das Verhältnifs der Radien zweier einander berührenden Kugeln von 1 bis ins Unbegränzte wächst, das Verhältnifs der Dichtigkeit der kleinen Kugel zu der Dichtigkeit der grofsen von 1 bis 2 wachse. Da die theoretische Untersuchung Poissons die obere Gränze etwas tiefer gestellt hat,

Digitized by Google

so verspare ich die Tabelle Coulombs über die Zunahme [142]
der Dichtigkeit nach der Gröfse der Kugeln auf die Darstellung jener Untersuchung (§. 206.).

Anordnung der Elektricität auf zwei Kugeln. 143
Verbindet man die Centra von zwei einander berührenden Kugeln durch eine gerade Linie und schneidet die Kugelflächen durch Ebenen, die auf dieser Linie senkrecht stehen, so ist es klar, dafs alle Punkte der Kugeln, die zu einem so entstandenen Kreise gehören, gegen beide Kugeln symmetrisch liegen und daher eine und dieselbe elektrische Dichtigkeit besitzen werden. Um die Lage eines Punktes der Kugeln, dessen elektrische Dichtigkeit man zu wissen wünscht, zu bestimmen, genügt es daher den Parallelkreis anzugeben, auf dem dieser Punkt liegt. Hierzu denkt man sich von dem Punkte einen Radius nach dem Mittelpunkte der Kugel gezogen, und giebt den Winkel an, den der Radius mit der Centrallinie beider Kugeln macht. Man zählt diesen Winkel so, dafs der Werth 0 dem Berührungspunkte der Kugeln, der Werth 180 den beiden entferntesten Punkten derselben entspricht. In der Fig. 36 wird z. B. der Punkt C durch den Winkel CBA angegeben.

Coulomb[1]) bestimmte die elektrischen Dichtigkeiten verschiedener Stellen der Kugeln mit einer Prüfungsscheibe aus Goldpapier von 4 bis 5 Linien Durchmesser, die an einem gekrümmten Schellackstiele befestigt (§. 112.), in die Torsionswage gebracht wurde. Er bediente sich hier, wie bei der Untersuchung der einfachen Leiter, der Methode der abwechselnden Berührung, um die Bestimmung von der Zerstreuung der Elektricität in die Luft unabhängig zu machen.

Kugeln gleicher Gröfse. Zwei Kugeln, jede von 144
8 Zoll Durchmesser, wurden in Berührung gesetzt und elektrisirt. Eine der Kugeln wurde an verschiedenen Stellen mit der Prüfungsscheibe berührt, die in die Wage gebracht, folgende Torsionen als Werthe der aufgenommenen Elektricitätsmengen gab. Die Elongation des Wagebalkens betrug zwischen 20 und 25 Grad, und ist bei den folgenden Angaben bereits mitgezählt.

[1]) *Mémoires de l'Acad. d. Scienc. Paris.* 1787.* 437.

Digitized by Google

[144]

Untersuchte Stelle.	Totale Torsion.	Mittel.
30°	7°	
90	31	
30	6	6,5
90	27	29
60	21	
90	23	
60	17	19
90	21	22
90	20	
180	19	
90	17	18,5
180	18	18,5

In jeder dieser drei Beobachtungsreihen vergleicht man die zweite Beobachtung mit dem Mittel der ersten und dritten, und die dritte mit dem Mittel der zweiten und vierten. Hierdurch erhält man folgende Werthe für das Verhältnifs der elektrischen Dichtigkeit des Punktes 90° zu der der anderen Punkte.

Verhältnifs der elektrischen Dichtigkeit des Punktes 90° zu der des Punktes			
30°	4,77		
	4,83	Mittel	4,80
60°	1,21		
	1,29		1,25
180°	1,02		
	0,91		0,96

Geben wir dem Punkte 180° die Dichtigkeit 100, so erhält

der Punkt	30	60	90	180°
die Dichtigkeit	20	77	96	100

Diese Anordnung der Elektricität findet auf jeder der beiden Kugeln statt, und der zusammengesetzte Leiter wird daher die elektrische Vertheilung zeigen, die in der Fig. 37 angedeutet ist. Die Dichtigkeit ist an beiden Enden des Leiters am stärksten, sie nimmt von dort in der Ausdehnung einer ganzen Halbkugel nur wenig ab, sodann aber sehr schnell auf der andern Halbkugel. Bei 30° hat die Dichtigkeit nur noch $\frac{1}{5}$ ihres gröfsten Werthes, bei 20° konnte Coulomb nur Spuren von Elektricität bemerken, und noch näher dem Berührungs-

Digitized by Google

punkte der Kugeln war keine Elektricität merklich. An dem [144]
Berührungspunkte selbst ist die Dichtigkeit Null zu setzen.

Zwei Kugeln ungleicher Gröfse. Eine achtzöllige 145
Kugel wurde mit einer von 4 Zoll Durchmesser in Berührung gesetzt. Coulomb untersuchte die elektrische Anordnung auf jeder der beiden Kugeln. Wir wollen ungleiche Kugeln durch ihre Halbmesser bezeichnen, und dabei den Halbmesser der gröfseren Kugel der Einheit gleich setzen. Die folgenden Angaben beziehen sich auf Prüfungen, die in der vorhin beschriebenen Weise angestellt wurden.

Kugel ($\frac{1}{2}$)

Untersuchte Stelle.	Totale Torsion.	Mittel.
30°	0	
60	18	
90	28	
60	15	16,5
90	24	26
90	21	
180	28	
90	20	20,5
180	26	27

Man hat hiernach

Verhältnifs der elektrischen Dichtigkeit des Punktes 90°			
zu der des Punktes	60°	1,70	
		1,73	1,71
	180	0,73	
		0,74	0,73

Setzt man die Dichtigkeit des Punktes 180 = 100, so hat man für

Punkt	0	30	60	90	180°
El. Dichtigkeit	0	0	42	73	100

An der grofsen Kugel gab die Prüfungsscheibe folgende 146
Torsionen.

Kugel (1)

Untersuchte Stelle.	Torsion.	Mittel.
30°	16	
90	18	
30	14	15
90	15	16,5

Digitized by Google

[146] Bei 90 und 180° wurde fast gleiche elektrische Dichtigkeit gefunden, bei 7° war sie Null. Als die grofse und kleine Kugel bei dem Punkte 90° untersucht wurden, fand sich daselbst die elektrische Dichtigkeit der Kugel ($\frac{1}{2}$) gröfser als die der Kugel (1), im Verhältnifs 1,25 zu 1. Nimmt man daher, wie früher, die elektrische Dichtigkeit der Kugel ($\frac{1}{2}$) bei dem Punkte 180° zu 100 an, so ergiebt sich die Vertheilung der Elektricität über die Kugel (1) in folgender Weise.

Punkt	0	7	30	90	180°
El. Dichtigkeit	0	0	49	58	58

Auf dem zusammengesetzten Leiter fand die elektrische Anordnung statt, wie sie in Fig. 38 bezeichnet ist. Am äufsersten Punkte der kleinen Kugel war die elektrische Dichtigkeit am gröfsten, nahm langsam ab bis zum gröfsten Kreise, von dort schnell bis 30°, wo sie verschwand. Von da an bis zum gemeinschaftlichen Berührungspunkte und bis 7° auf der grofsen Kugel blieb die Dichtigkeit Null, nahm dann schnell bis zum gröfsten Kreise zu, und blieb von dort bis zum äufsersten Punkte der grofsen Kugel constant.

147 Kugeln von den Radien 1 und $\frac{1}{4}$. Coulomb setzte an die achtzöllige Kugel eine Kugel von 2 Zoll Durchmesser. Die kleine Kugel ($\frac{1}{4}$) wurde allein untersucht.

Kugel ($\frac{1}{4}$)

Untersuchte Stelle.	Totale Torsion	Mittel.
0°	0	
90	27	
180	35	
90	22	24,5
180	29	32
90	19	20,5

Nimmt man die elektrische Dichtigkeit der Kugel ($\frac{1}{4}$) bei 180° zu 100 an, so ist sie am gröfsten Kreise im Mittel 70. Auf der Kugel (1) wurde die Dichtigkeit an dem Berührungspunkte, und 4 oder 5 Grade davon Null gefunden, von da an wuchs sie schnell, und blieb von 30 bis 180° nahe constant.

Es folgt aus diesen Versuchen, dafs auf einem aus zwei Kugeln zusammengesetzten Leiter die elektrische Dichtigkeit stets an dem äufsersten (dem Berührungspunkte diametralen)

Digitized by Google

Punkte der kleineren Kugel am gröfsten ist und von dort bis [147]
zum Berührungspunkte abnimmt, wo sie verschwindet. Auf der gröfseren Kugel sind die Aenderungen der Dichtigkeit geringer; die Dichtigkeit ist zwar am Berührungspunkte selbst Null, nimmt aber von dort schnell zu, und ist auf dem gröfsten Theile der Kugel beinah constant. Dies ist um so mehr der Fall, je verschiedener die Kugeln an Gröfse sind.

Bei zwei ungleich grofsen Kugeln ist die elektrische Dich- 148
tigkeit auf dem äufsersten Punkte der kleineren Kugel gröfser, als an irgend einem Punkte beider Kugeln, wie wir hier aus Vergleichung der Dichtigkeit jenes Punktes mit der anderer Punkte gesehen haben. Coulomb verglich aber ferner diese Dichtigkeit direct mit der mittleren Dichtigkeit der gröfseren Kugel. Hierbei untersuchte er den Endpunkt der kleinen Kugel mit der Prüfungsscheibe, während beide Kugeln einander berührten, trennte alsdann die Kugeln und bestimmte die Dichtigkeit irgend eines Punktes der grofsen Kugel mit der Prüfungsscheibe. Das Verhältnifs der ersten Dichtigkeit zur letzteren nimmt zu mit dem Gröfsenunterschiede beider Kugeln, wie aus der folgenden Tabelle ersichtlich ist, in der Coulomb seine Versuche zusammengestellt hat.

Elektrische Dichtigkeit an dem Ende der kleinen Kugel, die mittlere der grofsen Kugel 1 gesetzt.

Radius der Kugel. (der der gröfseren = 1)	El. Dichtigkeit.
1	1,27
$\frac{1}{2}$	1,55
$\frac{1}{4}$	2,35
$\frac{1}{8}$	3,18
sehr klein	4,00 +

Während das Verhältnifs der Radien der Kugeln von 1 bis Null abnimmt, nimmt das Verhältnifs jener Dichtigkeiten von 1,27 bis etwas über 4 zu. Wir werden sehen, dafs die theoretische Bestimmung mit diesem empirischen Resultate sehr genau übereinkommt.

Reihe von drei gleichen Kugeln. Coulomb elek- 149
trisirte drei Kugeln von 2 Zoll Durchmesser, die einander in gerader Linie berührten, und brachte jede von ihnen in die

Digitized by Google

[149] Torsionswage. Hierdurch wurde die mittlere elektrische Dichtigkeit jeder Kugel bestimmt. Das Mittel von mehr als 20 Messungen gab für die äufseren Kugeln die mittlere Dichtigkeit 1,34, wenn die der mittleren Kugel 1 gesetzt ist (Fig. 40.).

150 Reihe von sechs gleichen Kugeln. Coulomb[1]) liefs sechs Kugeln gleicher Gröfse (jede von 2 Zoll Durchmesser) einander in gerader Linie berühren. Eine dieser Kugeln hatte einen Schellackstiel, an dem sie in die Torsionswage gebracht werden konnte. Indem diese Kugel abwechselnd zur ersten und zweiten, zur ersten und dritten der Reihe gemacht, und ihre mittlere Dichtigkeit in der Wage gemessen wurde, konnte die Anordnung der Elektricität auf der ganzen Reihe in Bezug auf die mittlere Dichtigkeit der Kugeln bestimmt werden. Es wurde auch hier die Methode der abwechselnden Bestimmung gebraucht. Die Elongation des Wagebalkens betrug in den folgenden Messungen 30 Grad.

Kugel.	Totale Torsion.	Mittel.
2	44°	
1	64	
2	40	42
1	54	59
2	34	37

Hieraus berechnet man das Verhältnifs der elektrischen Dichtigkeiten der zweiten und ersten Kugel.

Elektrische Dichtigkeit der zweiten Kugel

$\frac{42}{64} = 0{,}656 \quad \frac{40}{59} = 0{,}678 \quad \frac{37}{54} = 0{,}685 \qquad$ Mittel $0{,}673$

Sodann wurde die Dichtigkeit der ersten und dritten Kugel verglichen.

Kugel.	Torsion.	Mittel.
3	81	
1	111	
3	61	71
1	85	98
3	51	56

Hieraus die elektrische Dichtigkeit der dritten Kugel

$\frac{71}{111} = 0{,}639 \quad \frac{61}{98} = 0{,}622 \quad \frac{56}{85} = 0{,}659 \qquad$ Mittel $0{,}640$

[1]) *Mémoires de l'Acad. Paris.* 1788.* 618.

Digitized by Google

Setzt man die elektrische Dichtigkeit der Endkugeln der [150]
Reihe 100, so hat man die Dichtigkeiten der einzelnen Glieder der Kugelreihe 100, 67, 64, 64, 67, 100 (Fig. 41.).

Reihe von 12 gleichen Kugeln. Auf die eben be- 151
schriebene Weise untersuchte Coulomb eine Reihe von 12 zweizölligen Kugeln, die einander in gerader Linie berührten. Das Verhältnifs der Dichtigkeit der zweiten Kugel zu der der ersten fand sich 0,67, das der sechsten 0,59. Bei einer 100 angenommenen elektrischen Dichtigkeit der Endkugeln ist die Dichtigkeit der zweiten Kugeln 67, die der beiden Mittelkugeln 59 (Fig. 42.).

Reihe von 24 gleichen Kugeln. Hier wurde das 152
Verhältnifs der Dichtigkeit der zweiten Kugel zu der der ersten 0,606 gefunden, das der zwölften 0,57. Man hat daher in der Reihe die Dichtigkeiten

100, 61 . . . . . 57, 57 . . . . . 61, 100.

Bei allen diesen Reihen gleicher Kugeln ist die elektrische Dichtigkeit auf den beiden Endkugeln am gröfsten, nimmt von da bis zur nächsten Kugel sehr schnell ab, sehr langsam aber von da bis zur Mitte der Reihe.

Kugelreihen an einer Kugel anliegend. Cou- 153
lomb [1]) setzte verschiedene Kugelreihen an eine gröfsere Kugel, so dafs die Mittelpunkte aller Kugeln in gerader Linie lagen, und untersuchte die Anordnung der Elektricität auf dem so zusammengesetzten Leiter.

An eine achtzöllige Kugel wurden zwei zweizöllige Kugeln angesetzt, wie die Fig. 43 zeigt. Die Dichtigkeit war auf der äufseren kleinen Kugel am gröfsten, sie nahm bis zur inneren kleinen Kugel im Verhältnifs 100 zu 39 ab.

Die Reihe von vier zweizölligen Kugeln wurde an die achtzöllige Kugel angelegt (Fig. 44.); das Verhältnifs der Elektricitätsmengen der kleinen Endkugel und der die grofse berührenden Kugel wurde durch sechs Messungen auf 3,4 bestimmt. Um die elektrische Dichtigkeit der grofsen Kugel zu bestimmen, verfuhr Coulomb in folgender Weise. Nachdem der ganze zusammengesetzte Leiter elektrisirt war, wurde die

[1]) *Mémoires de l'Acad. Paris.* 1788.* 635.

Digitized by Google

[153] äufserste kleine Kugel in die Torsionswage gebracht und ihre Elektricitätsmenge gemessen. Dieselbe Kugel wurde dann an die grofse Kugel angelegt, die von den übrigen Kugeln getrennt war, und sodann wiederum in die Wage gebracht. Die erste Messung durch die letzte dividirt, gab den Quotienten 1,6. Dies würde das Verhältnifs der Dichtigkeit der äufsersten Kugel zu der der grofsen Kugel sein, wenn die Dichtigkeit auf 2 Kugeln ungleicher Gröfse, die einander berühren, gleich wäre. Nun ist aber in früheren Versuchen gezeigt, dafs wenn eine Kugel eine andere von dem vierfachen Durchmesser berührt, die Dichtigkeit der kleineren Kugel zu der der gröfseren sich wie 1,3 zu 1 verhält. Es folgt daher, dafs die elektrische Dichtigkeit der kleinen Kugel, als sie an dem Ende der Kugelreihe stand, 1,6 mal 1,3 oder 2,08 war, während die der grofsen Kugel 1 betrug. Man hat hiernach die Anordnung der Elektricität folgendermafsen: Dichtigkeit der äufsersten Kugel 100, der inneren, welche die grofse Kugel berührt 29, der grofsen Kugel 48.

154 Eine Reihe von 24 zweizölligen Kugeln wurde mit der achtzölligen Kugel in gerader Linie in Berührung gebracht und elektrisirt. Die elektrische Dichtigkeit der 24sten Kugel der Reihe wurde folgendermafsen im Verhältnisse zu der der anderen Kugeln bestimmt.

	Dichtigkeit der 24sten Kugel	
verglichen mit der Dichtigkeit der	23sten Kugel	1,49
	12ten -	1,70
	2ten -	2,10
	1ten -	3,72
	der grofsen -	2,16

Die elektrische Dichtigkeit der äufsersten Kugel 100 angenommen, erhält man folgende Vertheilung:

Kugel	24	23	12	2	1	grofse
Dichtigkeit	100	67	59	48	27	46

wie in der Fig. 45 angegeben ist. Man sieht, dafs das Verhältnifs der elektrischen Dichtigkeit der äufsersten Kugel zu der der grofsen Kugel (100 zu 46) nahe dem Verhältnisse derselben Gröfsen gleich ist (100 : 48) das gefunden wurde, als die grofse Kugel mit einer Reihe von nur 4 Kugeln in Berührung stand.

Digitized by Google

Anordnung der Elektricität auf Kugel und Cylinder.

Der vorige Versuch, in welchem eine lange Kugelreihe 155
mit einer grofsen Kugel in Berührung stand, führte auf den bei Apparaten häufig vorkommenden Leiter, der aus einer Kugel und einem Cylinder zusammengesetzt ist. Die mittlere Dichtigkeit der Theile dieses zusammengesetzten Leiters ist von Coulomb[1]) untersucht worden.

Eine achtzöllige Kugel wurde elektrisirt und mit einer Kugel von 9 Linien Durchmesser berührt, die dann an einem Schellackstiele in die Torsionswage gebracht wurde. Um den Wagebalken auf die Elongation von 28 Grad zu bringen, mufste eine totale Torsion von 154 Graden angewendet werden. Die grofse Kugel wurde hierauf mit dem Ende eines Cylinders von 2 Zoll Dicke und 30 Zoll Länge berührt, dergestalt, dafs die verlängerte Axe des Cylinders den Mittelpunkt der Kugel traf; nach Entfernung des Cylinders prüfte man die Elektricität der grofsen Kugel wiederum durch Berührung mit der kleinen Kugel, die in der Torsionswage den Balken mit einer Torsion von 68 Grad in die frühere Lage brachte. In der zwischen beiden Messungen verflossenen Zeit hatte die grofse Kugel $\frac{1}{40}$ ihrer Elektricitätsmenge verloren.

Eine Elektricitätsmenge, die durch 150 gemessen wird, hatte sich also zwischen Kugel und Cylinder im Verhältnisse 68 zu 82 vertheilt. Da die Kugel 201, der Cylinder $188\frac{1}{2}$ Quadratzoll Oberfläche besafs, so erhält man Dichtigkeit der Kugel $\frac{68}{201}$; des Cylinders $\frac{82}{188{,}5}$. Daher ist das Verhältnifs der elektrischen Dichtigkeit des Cylinders zu der der Kugel

$$= \frac{82}{188{,}5} \cdot \frac{201}{68} = 1{,}286.$$

Coulomb nimmt dafür als Mittel aus mehreren Versuchen das Verhältnifs 1,3, das also die mittlere elektrische Dichtigkeit des Cylinders ausdrückt, wenn die der Kugel 1 gesetzt wird. Fernere Versuche mit Cylinder von 15 und von 10 Zoll Länge gaben nahe dasselbe Verhältnifs, das sich bei sehr kleinen Längen des Cylinders änderte. Dies wird besonders auf-

[1]) *Mém. de l'Acad. Paris.* 1788.* 645.

Digitized by Google

[155] fallend, wenn der Cylinder eine geringe Dicke besitzt. Es wurde an die achtzöllige Kugel ein Cylinder von 2 Linien Dicke angesetzt. Als dieser Cylinder nur 6 Linien lang war, fand sich seine mittlere elektrische Dichtigkeit zweimal so grofs als die der Kugel, aber achtmal, als der Cylinder 6 Zoll Länge hatte. Ueber diese Länge hinaus änderte sich das Verhältnifs der Dichtigkeiten nur wenig. Es folgt hieraus, dafs das Verhältnifs der Dichtigkeit eines Cylinders zu der einer Kugel, die von ihm berührt wird, unabhängig von der Länge des Cylinders ist, so lange diese Länge nicht unter einen gewissen Werth sinkt, der im Allgemeinen dem Durchmesser der Kugel gleichgesetzt werden kann.

156 Die achtzöllige Kugel wurde successiv mit zwei Cylindern in Berührung gesetzt, die zwar dieselbe Länge, wie der früher angewandte Cylinder (30 Zoll), aber verschiedene Dicke hatten. Es wurden folgende Werthe für die elektrische Dichtigkeit der Cylinder gefunden, wobei die Dichtigkeit der Kugel 1 gesetzt ist.

Durchmesser des Cylinders	2	1	$\frac{1}{8}$ Zoll
Elektrische Dichtigkeit	1,3	2,0	9,0

Die beiden letzten Dichtigkeiten stehen nahe in dem umgekehrten Verhältnisse der Potenz $\frac{4}{5}$ der Durchmesser. Dieser Exponent gilt aber nur, wenn der Unterschied der Durchmesser von Kugel und Cylinder in den hier angegebenen Gränzen bleibt; wird der Unterschied gröfser, so nähert sich der Exponent der Einheit, so dafs die Dichtigkeiten verschiedener Cylinder sich alsdann umgekehrt verhalten wie ihre Durchmesser. Sind hingegen Durchmesser von Kugel und Cylinder weniger verschieden, als in den letzten Versuchen, so ist jener Exponent noch bedeutend kleiner als $\frac{4}{5}$. Hierüber giebt Coulomb folgende Resultate von Versuchen, in welchen die achtzöllige Kugel mit Cylindern bedeutender Dicke berührt war.

Durchmesser des Cylinders	2	4	8 Zoll
Elektrische Dichtigkeit	1,3	0,85	0,60

Hier stehen die Dichtigkeiten der Cylinder im umgekehrten Verhältnisse der Potenz 0,6 bis 0,5 der Durchmesser.

157 Man sieht, dafs wenn eine Kugel mit einem Cylinder berührt wird, der ihr an Durchmesser gleich ist, die Elek-

Digitized by Google

tricität sich so zwischen beide Körper theilt, dafs die Dich- [157]
tigkeit des Cylinders kleiner ist, als die der Kugel. Je dünner man den Cylinder nimmt, desto gröfser wird seine Dichtigkeit im Verhältnisse zu der der Kugel; bei einem Durchmesser, der zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{4}$ des Durchmessers der Kugel beträgt, ist die Dichtigkeit auf Cylinder und Kugel gleich, und bei gröfserer Dünne des Cylinders nimmt seine elektrische Dichtigkeit immer mehr zu. Eine besondere Wichtigkeit hat der Fall, wenn der Cylinder schon so dünn ist, dafs seine Dichtigkeit im umgekehrten Verhältnisse seines Durchmessers zunimmt. Alsdann kann die Dichtigkeit des Cylinders durch fortgesetzte Verminderung seiner Dicke sehr grofs gegen die Dichtigkeit der Kugel erhalten werden. Man erinnert sich ferner, dafs wenn ein Cylinder in Halbkugeln endigt, die elektrische Dichtigkeit dieser Enden sich zu der Dichtigkeit der Mitte des Cylinders wie 2,3 zu 1 verhält. Die elektrische Dichtigkeit des Endes eines dünnen Cylinders, der mit dem andern Ende eine grofse Kugel berührt, wird also sehr viel gröfser sein, als die Dichtigkeit der Kugel. Nehmen wir den Fall einer achtzölligen Kugel, die mit einem langen Cylinder von 2 Linien Dicke in Berührung steht, so wird, wenn die Dichtigkeit der Kugel 1 ist, das freie Ende des Cylinders eine Dichtigkeit von $9 \times 2{,}3$ oder 20,7 haben. Dies Verhältnifs wird noch bedeutend gröfser, wenn der Cylinder, statt kugelförmig zu endigen, am Ende zugespitzt ist, und es kann dann kommen, dafs die Elektricität auf der Kugel unmerklich bleibt, während sie auf dem Ende des mit derselben verbundenen Cylinders eine so grofse Dichtigkeit besitzt, dafs sie sich nicht erhalten kann, und auf die nächsten Lufttheilchen übergeht. Dies erklärt die bekannte Erfahrung, dafs ein Conductor, der mit einer Spitze von einiger Länge besetzt ist, keiner Elektrisirung fähig ist, indem die zugeführte Elektricität sogleich an der Spitze wieder ausströmt. — Es ist ein Glück für die elektrischen Versuche zu nennen, dafs, wie oben angeführt ist, die bedeutende Zunahme der elektrischen Dichtigkeit auf dünnen Cylindern nur für Cylinder gilt, die schon eine gewisse Länge in Bezug auf den Halbmesser der Kugel besitzen. Wir haben gesehen, dafs ein Cylinder, der bei 6 oder mehr Zoll Länge eine achtmal gröfsere Dich-

Digitized by Google

[157] tigkeit hatte, als die von ihm berührte Kugel, nur noch die doppelte Dichtigkeit der Kugel besafs, als er auf 6 Linien verkürzt war. Sehr kurze, wenn auch noch so dünne Cylinder, erlangen eine Dichtigkeit, die nur wenig gröfser ist, als die der von ihnen berührten Leiter. Zarte Fäserchen und Staubspitzen, von denen ein Leiter schwer ganz frei zu halten ist, gestatten deshalb eine schon beträchtliche Ansammlung von Elektricität auf dem Leiter, und veranlassen erst das Ausströmen bei einer Elektrisirung, die man zu genauen Versuchen niemals anzuwenden nöthig hat. Sie werden höchstens hinderlich, wenn man lange elektrische Funken hervorbringen will, zu welchen die elektrische Dichtigkeit des Leiters sehr grofs sein mufs.

158 In den bisher angeführten Versuchen wurde der aus Kugel und Cylinder zusammengesetzte Leiter durch Aenderung des Cylinders geändert; Coulomb hat zur Vervollständigung dieser Untersuchung auch die Kugel mit anderen vertauscht. Er fand, dafs wenn der Durchmesser der Kugel wenigstens achtmal gröfser war, als der des Cylinders, das Verhältnifs der elektrischen Dichtigkeit eines und desselben Cylinders zu der Dichtigkeit der Kugel, dem Durchmesser der letzteren einfach proportional war. Bringt man z. B. einen Cylinder von 1 Zoll Dicke mit einer Kugel von 8 Zoll Durchmesser in Berührung, so ist, wie oben gefunden wurde, die Dichtigkeit des Cylinders zu der der Kugel wie 2 zu 1. Vertauscht man die Kugel mit einer andern von 24 Zoll Durchmesser, so wird das Verhältnifs der Dichtigkeit des Cylinders und der Kugel nahe 6 sein.

159 Die Resultate der vorhergehenden Versuche lassen sich in eine übersichtliche Formel vereinigen, die für praktische Zwecke brauchbar ist. Es sei D die mittlere elektrische Dichtigkeit einer Kugel vom Halbmesser R, die von einem bedeutend dünneren, nicht zu kurzen Cylinder vom Halbmesser r berührt wird, so ist die mittlere elektrische Dichtigkeit d des Cylinders durch folgende Ausdrücke gegeben:

Im Falle dafs r höchstens $= \frac{1}{8}R$ ist

$$d = \frac{m D R}{r^{\frac{4}{5}}};$$

Digitized by Google

Im Falle r höchstens $= \frac{1}{48} R$ ist [159]

$$d = \frac{m D R}{r}$$

wo m eine empirisch zu bestimmende Constante bedeutet. In dem letzten Ausdrucke, der später gebraucht wird, läfst sich m aus dem dritten Versuche des §. 156 bestimmen. Man hat dort $\frac{R}{r} = 48$ $\frac{d}{D} = 9$ und hiernach $m = \frac{9}{48} = 0{,}1875$. Auf sehr dünnen Cylindern, die eine Kugel von grofsem Halbmesser berühren, wird daher die elektrische Dichtigkeit nahe sein $d = 0{,}1875\, D \frac{R}{r}$.

Fünftes Kapitel.

Die elektrische Influenz oder Vertheilung.

Wir haben gesehen, dafs wenn einem nicht elektrisirten 160
Leiter ein elektrisirter bis zur Berührung genähert wird, ein Theil der Elektricität des letztern auf den ersten übergeht, und nach der Trennung daher beide Leiter elektrisch erscheinen. Besafs der geladene Leiter Elektricität von grofser Dichtigkeit, so tritt vor der Berührung eine von einem eigenthümlichen Geräusche begleitete Lichterscheinung ein, von der später unter dem Namen des elektrischen Funkens ausführlich die Rede sein wird. Das Auftreten des Funkens und die §. 1 historisch erwähnte Erfahrung der Anziehung von Strohhalmen durch den geriebenen Bernstein, deuten auf die Einwirkung eines elektrisirten Körpers auf einen neutralen, während beide noch in einiger Entfernung von einander stehen. Diese Einwirkung, eine der merkwürdigsten Erscheinungen der Elektricität, wird mit dem Namen der *elektrischen Influenz* oder *Vertheilung* belegt.

Digitized by Google

[160] Die Influenz wurde im Jahre 1753 von Canton[1]) entdeckt, welcher zwei Korkkugeln an feinen Silberdräthen aufhängte, und fand, dafs diese Pendel mit positiver Elektricität divergirten, so lange er unter ihnen eine geriebene Siegellackstange hielt, und mit negativer Elektricität divergirten, wenn er eine geriebene Glasstange anwendete. Hiermit war aber nur ein Theil der Erscheinung aufgedeckt, deren weitere Entwickelung von Wilcke[2]) und Aepinus[3]) geleistet wurde. Coulombs messende Versuche und Poissons Berechnung derselben eröffneten das nähere Verständnifs der Influenz, und neuere Bemühungen, die theils Zweifel an den gewonnenen Principien hervorriefen, theils diese wieder zu heben suchten, haben zur klareren Einsicht in die Erscheinung beigetragen.

Princip der Influenz. Die Influenzelektricitäten.

161 Zur Aufzeigung dieses Princips dient der Vertheilungsapparat Fig. 46. Ein cylindrischer Messingstab *a b*, 6 Zoll 5 Linien lang, $3\frac{1}{4}$ Linien dick, wird vertical von einem 5 Zoll langen Glasarme gehalten, der an einer Metallhülse befestigt, längs dem Glasstabe *f* bewegt und daran festgestellt werden kann. Eine gleiche Befestigung und Bewegung hat die Glasscheibe *d* und die hohle Metallkugel *e*, welche letztere einen Durchmesser von $28\frac{1}{2}$ Linien hat. An dem Messingcylinder befinden sich drei Hollundermarkkugeln an leinenen Zolllangen Fäden, von welchen die beiden äufsersten am Stabe selbst befestigt sind, der mittlere Faden an einem Ringsegmente befestigt ist, das höher und tiefer gestellt werden kann. Man kann die Kugel, die Glasscheibe und den Metallcylinder so richten, dafs die Axe des Cylinders und die Mittelpunkte der beiden anderen Stücke in gerader Linie liegen. Es sei der Apparat so gestellt, dafs die nächste Entfernung zwischen Kugel und Cylinder $\frac{1}{4}$ Zoll beträgt, und die Glasscheibe frei

---

[1]) *Franklin experim. and observations 5th. ed.* 151.

[2]) *Disput. de electricitatibus contrar.* *Rostoch* 1757. 72 *sqq.*

[3]) *Tentamen theoriae electric.* *Petrop.* 1759. 127 *sqq.*

Digitized by Google

zwischen beiden liegt. Man theile der Kugel *e* positive Elek- [161]
tricität mit, wozu man sich der elektrischen Spritze bedienen kann; diese Elektricität kann der Entfernung und der Glasscheibe wegen nicht auf den Cylinder übergehen, aber dennoch ist dieser elektrisch geworden, wie sich dadurch zeigt, dafs die Hollundermarkkugeln, die früher an dem Cylinder anlagen, jetzt von ihm abgestofsen werden. Wir wollen zuvörderst nur auf die beiden äufsersten Pendel achten, welche stärker divergiren, als das mittlere Pendel. Eine einfache Prüfung zeigt, dafs diese beiden Pendel mit entgegengesetzten Elektricitäten divergiren. Geriebenes Siegellack stöfst das Pendel *b* (das der Metallkugel zunächst stehende) ab, und zieht das Pendel *a* an, geriebenes Glas stöfst *a* zurück und zieht *b* an. Das Pendel *b* ist also negativ, das Pendel *a* positiv elektrisch. Dies geschieht, weil die Kugel *e* mit positiver Elektricität geladen worden; giebt man ihr negative Elektricität, so sind die Elektricitäten der Pendel die entgegengesetzten. Entladet man die Kugel *e*, so fallen die Pendel des Cylinders zusammen und der Apparat ist unelektrisch. Bei Anstellung des Versuches in feuchter Luft ist dies nicht streng der Fall, wovon der Grund später angeführt wird.

Der Cylinder ist durch die Nähe der elektrisirten Ku- 162
gel elektrisch geworden, und zwar in eigenthümlicher Weise, da er an verschiedenen Stellen entgegengesetzte Elektricitäten besitzt. Diese Elektricitäten sind an ihm in genau gleicher Menge vorhanden, da er durch Entfernung der Kugel unelektrisch wird, welches bei einem alleinstehenden Leiter nur dadurch geschehen kann, dafs beide Elektricitäten einander neutralisiren. Diese merkwürdige Elektrisirung nennt man Elektrisirung durch Influenz oder Vertheilung; sie findet bei Körpern jeder Art und Form statt. Es sei irgend ein neutraler Körper einem elektrisirten genähert worden, und man berühre mit der Prüfungsscheibe einen Punkt des Körpers, der dem elektrisirten Körper zunächst liegt. Die Scheibe, an das Elektroskop gebracht, wird Elektricität entgegengesetzter Art anzeigen von der, welche der elektrisirte Körper besitzt. Die Scheibe machte, als sie an dem neutralen Körper anlag, einen Theil desselben aus, und der Schlufs ist unabweislich, dafs die von ihr be-

Digitized by Google

[162] rührte Stelle dieselbe Elektricität besafs, welche die Scheibe zeigt. Die Stelle des neutralen Körpers, welche Elektricität besitzt, gleichnamig mit der des ursprünglich elektrisirten Körpers, ist im Allgemeinen nicht vorher zu bestimmen, aber dafs diese Elektricität wirklich an ihm vorhanden ist, zeigt sich wiederum dadurch, dafs der Körper unelektrisch wird, wenn man den elektrisirten Körper entfernt. Hiermit ist das Grundprincip der Influenz aufgezeigt:

Jeder elektrisirte Körper erregt in einem ihm nahestehenden isolirten neutralen Körper beide Elektricitätsarten in gleicher Menge, und zwar ist an der ihm nächsten Stelle des neutralen Körpers die der seinigen entgegengesetzte Elektricität vorhanden.

163 Die Wirkung der Influenz ist ganz allgemein, sie findet am Leiter wie am Nichtleiter statt, nur modificirt sie sich bei der letzten Art von Körpern, wovon später die Rede sein wird. Wir bleiben zuvörderst bei den Leitern stehen. An jedem der Influenz ausgesetzten (*influencirten*) Leiter sind beide Elektricitätsarten an verschiedenen Stellen vorhanden, und es müssen daher auch Stellen desselben gänzlich unelektrisch sein. Diese Stellen nennt man *indifferente*, und sie sind im Allgemeinen nicht vorher zu bestimmen. An dem Vertheilungsapparate (Fig. 46.) bilden sie einen Gürtel des cylindrischen Stabes, der aufserhalb der Mitte nach der elektrisirten Kugel zu liegt. Durch Verschiebung des Ringsegments, an dem das mittlere Pendel *c* hängt, findet man eine Stelle, an welcher das Pendel, auch bei stärkster Elektrisirung der Kugel *e*, nicht divergirt. Hat man dies bei einer bestimmten Stellung der Kugel erreicht, so divergirt jenes Pendel dennoch, wenn man die Kugel *e* verrückt. Die Indifferenzzone auf dem Cylinder ist also abhängig von der Entfernung des Cylinders von der Kugel. Genauer bestimmt man diese Abhängigkeit durch die Prüfungsscheibe, mit der man die unelektrische Stelle des Cylinders aufsucht. Diese Untersuchung ergiebt, dafs die Indifferenzzone gegen die Mitte des Cylinders zu rückt, je weiter die Kugel entfernt wird. Dies ist auch bei einer neutralen Kugel der Fall, die von einer elektrisirten Kugel influencirt wird; der Indifferenzkreis liegt stets auf der zugewandten Halbkugel,

Digitized by Google

und nähert sich einem gröfsten Kreise, je weiter die elektrisirte [163]
Kugel entfernt wird.

Es ist §. 5 gezeigt worden, dafs entgegengesetzte Elek- 164
tricitäten, wenn sie in gleicher Menge auf denselben Leiter gebracht werden, einander in der Art neutralisiren, dafs der Leiter unelektrisch zurückbleibt. Dieser Satz wird durch die Erscheinung der Influenz nicht aufgehoben. Es sind zwar hier auf Einem Leiter beide Elektricitäten vorhanden, und diese ziehen einander an, gerade so wie sie es thun würden, wenn sie dem Leiter durch Mittheilung gegeben wären — aber ihrer Vereinigung steht die Wirkung des nahestehenden Leiters entgegen, dessen Elektricität die der seinigen gleichnamige Elektricität abstöfst, die ungleichnamige anzieht. Hebt man diese Wirkung auf (durch Entladung oder Entfernung des elektrisirten Körpers), so tritt jene Neutralisation vollständig ein. Man kann diese Neutralisation zum Theil verhindern, indem man statt eines einfachen Leiters einen zweckmäfsig zusammengesetzten der Influenz aussetzt, und seine Theile trennt, ehe man den elektrisirten Körper entfernt. Es werde an das Ende *a* des Cylinders *ab* (Fig. 46.), von dessen unterem Ende die elektrisirte Kugel *e* etwa 1 Zoll absteht, ein Stab von $\frac{1}{4}$ Zoll Länge in der Verlängerung des Cylinders isolirt aufgesetzt, so wird bei positiver Elektrisirung der Kugel *e*, das positiv elektrische Pendel *a* seine Divergenz verlieren, das negativ elektrische Pendel *b* stärker divergiren, als zuvor. Dies rührt daher, dafs die positive Elektricität, die sich früher bis *a* erstreckte, in den angesetzten Stab getreten ist, und die Anziehung der beiden Elektricitäten bei der gröfseren Entfernung kleiner geworden ist. Entfernt man den angesetzten Stab und prüft ihn am Elektroskope, so erscheint er positiv elektrisch, während der Cylinder *ab* negativ elektrisch bleibt, wenn auch die influencirende Kugel *e* entfernt worden ist. Hat man den isolirten Stab hingegen an *b* angesetzt, so fällt das Pendel bei *b*, das bei *a* steigt, und nach Entfernung des Stabes bleibt der Cylinder positiv elektrisch zurück. Hier sind die beiden durch Influenz erregten Elektricitäten an ihrer Vereinigung nach Aufhebung der sie trennenden Kraft gehindert worden, und erhielten sich daher einzeln. Der Erfolg dieses Versuches ist

Digitized by Google

[164] wesentlich derselbe, wenn man den angesetzten Stab von immer gröfserer Länge nimmt, nur wird alsdann, wie man sogleich sieht, die positive Elektricität dieses Stabes immer schwächer erscheinen, da sie über eine gröfsere Oberfläche verbreitet ist. Die negative Elektricität des der Kugel zugewandten Endes *b* des festen Stabes wird desto stärker, je länger der zugesetzte Stab ist, weil die positive Elektricität des andern Endes um so entfernter von ihr steht; jene negative Elektricität ist daher am stärksten, wenn der angesetzte Stab unendlich lang, das heifst mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt worden ist. Zu diesem Versuche bedarf man des zugesetzten Stabes nicht. Hat man den Vertheilungsapparat so eingerichtet, dafs die äufsersten Pendel divergiren, und berührt man den Stab *a b* mit dem Finger, so fällt das obere Pendel in die Verticale zurück, und das untere, der influencirenden Kugel zunächst stehende, Pendel erhält die gröfste Divergenz, die es bei der angewandten Elektricitätsmenge der Kugel und ihrer Entfernung von dem Ende des Stabes erhalten kann.

165 Die Verbindung des Cylinders *a b* (Fig. 46.) mit der Erde ist an seinem obern Ende *a* bewerkstelligt worden, weil wir von der Verlängerung des Cylinders auf diesen Versuch geführt worden sind. Aber diese Verbindung kann auch an irgend einem andern Punkte des Cylinders angebracht werden, ohne dafs deshalb die Divergenz des untern Pendels weniger stark ausfiele. Es zeigt dies, dafs die Elektricität des der influencirenden Kugel nächsten Endes eines unendlich langen Stabes nicht beeinträchtigt wird, wenn dies Ende auch nach oben verzweigt ist. Diese Gleichgültigkeit des Ansatzpunktes der einzelnen Stücke besteht aber nicht für einen begränzten zusammengesetzten Leiter. Man nehme eine kleine isolirte Scheibe aus Goldpapier, berühre mit ihr am Vertheilungsapparate die Seite des influencirten Cylinders, und entferne sie wieder. Nach dem Anlegen an die Seite des untern Endes *b* sinkt das untere Pendel und das obere steigt; war die Scheibe hingegen an das obere Ende *a* angelegt worden, so steigt das untere Pendel und das obere sinkt. Durch wiederholtes Anlegen und Entladen der Scheibe kann man jedes der beiden Pendel zum Anschlagen an den Stab, das andere zu seiner gröfsten Divergenz

Digitized by Google

bringen. Zwischen beiden Enden des Cylinders findet sich [165] eine Stelle, an welcher die Prüfungsscheibe keine Spur von Elektricität aufnimmt, daher den Stand der Pendel gänzlich ungeändert läfst. Auch mit einer kleinen Kugel ($\frac{1}{2}$ Linie Durchmesser) gelingt der Versuch, aber nicht mit anders geformten Stücken, besonders wenn sie beträchtliche Dimensionen besitzen. Mit einem dünnen Cylinder von 1 Zoll Länge z. B. ist eine Verminderung der Divergenz des unteren Pendels nicht mehr zu bewirken. Der Grund hiervon ist einleuchtend. Bei dem Ansetzen eines sehr kleinen Metallstückes an den Cylinder ist die Form des so entstandenen zusammengesetzten Leiters wenig von der des einfachen verschieden, und so ist es auch seine Elektrisirung; durch das Ansetzen eines gröfseren Stückes ändert sich die Elektrisirung des Cylinders je nach dem Ansatzpunkte und dem Winkel, den das Stück mit der Axe des Cylinders macht. Der Erfolg eines solchen Versuches hängt wesentlich von der Anordnung der beiden durch Influenz erregten Elektricitäten auf dem zusammengesetzten Leiter ab, und kann ohne Kenntnifs dieser Anordnung nicht vorherbestimmt werden.

Einen alleinstehenden, durch Mittheilung oder selbstständige Erregung, elektrisirten Leiter ist man gewohnt unelektrisch zu finden, wenn er mit der Erde leitend verbunden wird. Dies findet, wie wir §. 165 gesehen haben, bei einem durch Influenz elektrisirten Leiter nur in Bezug auf die eine Elektricitätsart (die von dem erregenden Körper fortgestofsene) statt, während die andere Elektricitätsart dem Leiter auch bei vollkommener Ableitung verbleibt. Man hat hiervon Veranlassung genommen, die beiden erregten Elektricitäten von einander zu unterscheiden, und hat die durch Ableitung zu entfernende *freie* Elektricität genannt, während die andere zurückbleibende als *gebundene*, latente Elektricität bezeichnet wurde. Diese Bezeichnung findet sich auch in anderen Sprachen, und es ist von der zuletzt genannten Elektricität als einer *électricité dissimulée, latente,* einer *electricity dissimulated, controlled,* die Rede. Es wäre gegen diese kurze Bezeichnung eines häufig vorkommenden Versuches Nichts zu erinnern, wenn nicht dadurch die Vorstellung einer mit anderen, als den gewöhnlichen, 166

Digitized by Google

[166] Eigenschaften begabten Elektricität nahe gelegt und wirklich aufgefafst worden wäre. So hat man an der gebundenen Elektricität zu verschiedenen Zeiten verschiedene Eigenschaften entdecken wollen. Sie sollte gänzlich wirkungslos, oder nur ihres Propagationsvermögens beraubt, oder nur bis zu einer bestimmten Gränze wirkend sein, oder endlich eigenen Gesetzen folgen, die mit denen der freien Elektricität nicht zu vereinigen sind [1]). Es ist gerathen, die erwähnten Bezeichnungen der beiden Elektricitäten mit anderen zu vertauschen. Wir wollen die beiden in einem neutralen Körper durch Influenz erregten Elektricitäten *Influenzelektricitäten* nennen, und zwar *Influenzelektricität erster Art* (oder Influenzelektricität ohne Beisatz) die von dem erregenden Körper angezogene Elektricität, *Influenzelektricität zweiter Art* die von ihm fortgestofsene. Influenzelektricität erster Art ist demnach die im neutralen Körper erregte Elektricität, die mit der erregenden ungleichnamig und bisher als gebundene, latente, dissimulirte Elektricität bezeichnet worden ist.

Menge der Influenzelektricitäten.

167 Ein neutraler Leiter, von einem elektrisirten Körper durch Influenz erregt, wird unter verschiedenen Verhältnissen verschieden stark elektrisch. Wenn der influencirende Körper derselbe bleibt, ändert sich die Elektrisirung des Leiters mit der Elektricitätsmenge des Körpers, mit Form und Dimensionen des Leiters, mit seiner Lage und seiner Entfernung von jenem Körper. Nehmen wir als einfachstes Beispiel eine Kugel zum ursprünglich elektrisirten Körper, und bringen wir leitende Kugeln und Cylinder in ihre Nähe, so finden wir die elektrischen Dichtigkeiten an der Oberfläche jeder Kugel verschieden nach der Gröfse und Entfernung der neutralen Kugel von der erregenden Kugel, und bei den Cylindern aufserdem verschieden je nach dem Winkel, den die Axe eines Cylinders mit der Linie bildet, welche ihren Mittel-

[1]) Repertor. d. Phys. Berl. 1838. 2. 29. — 1842. 6. 132.

Digitized by Google

punkt mit dem Mittelpunkte der elektrisirten Kugel verbindet. [167]
Diese verschiedene Elektrisirung rührt von zwei Ursachen her, von einer verschiedenen Menge der erregten Elektricität, und von der verschiedenen Anordnung derselben, und läfst daher keineswegs auf die Menge schliefsen. Hat man z. B. an einem bestimmten Punkte eines Leiters, bei einer bestimmten Entfernung vom elektrisirten Körper, die Dichtigkeit 1, bei einer andern Entfernung die Dichtigkeit $\frac{1}{2}$ gefunden, so wäre der Schlufs, dafs sich die Mengen der Influenzelektricität respectiv wie 1 zu $\frac{1}{2}$ verhielten, durchaus falsch, weil die Anordnung der Elektricität in beiden Fällen eine verschiedene ist. Nur wenn die Anordnung auf dem Leiter dieselbe geblieben ist, geht die Dichtigkeit eines Punktes proportional der ganzen Elektricitätsmenge des Leiters. Um die Menge der erregten Influenzelektricität an einem Leiter zu bestimmen, mufs im Allgemeinen ein beschwerliches Mittel gebraucht werden. Man mufs den Leiter so in zwei Stücke theilen, dafs jedes Stück nur Eine Elektricitätsart besitzt, und ein solches Stück isolirt von dem influencirenden Körper entfernen. Die Elektricität ordnet sich dann nach den durch die Form des Stückes bedingten Gesetzen an, und ihre Menge kann auf dieselbe Weise bestimmt werden, wie die eines ursprünglich elektrisirten Leiters. Die folgende Messung wird dies deutlich machen.

Coulomb[1]) elektrisirte eine leitende Kugel *C* (Fig. 47.) 168
von 8 Zoll Durchmesser, und näherte ihr zwei kleine Kugeln von 2 Zoll Durchmesser *a* und *a'*, die mit einander in Berührung standen; die Entfernung *cd* betrug 2 Zoll. Die eine dieser Kugeln stand auf einem Dreifufse aus Schellack, die andere war an einem isolirenden Stiele befestigt, durch den sie in die Torsionswage gebracht werden konnte. Als diese Kugel, nachdem die grofse Kugel positiv elektrisirt worden, an der Stelle *a* gestanden hatte, gab sie in der Wage eine gewisse Abstofsung des Balkens mit negativer Elektricität, und genau dieselbe Abstofsung mit positiver Elektricität, wenn sie die Stelle *a'* eingenommen hatte. Hierdurch ist gezeigt, dafs bei der Influenz, welche beide Kugeln zusammen erfuhren, auf

[1]) *Mém. de l'Acad. Paris.* 1788.* 678.

Digitized by Google

[168] jeder Kugel nur Eine Influenzelektricitätsart vorhanden war. Es wurde nun wieder die Kugel von der Stelle a' in die Wage gebracht, deren Balken gleichnamig mit der grofsen Kugel elektrisirt war, und gab bei der Torsion von 21 Graden eine bestimmte Elongation des Balkens. Hierauf wurde die kleine Kugel entladen, mit der grofsen in Berührung gesetzt, und gab mit der Torsion 66° dem Balken die frühere Elongation. Man sieht, dafs hier die Influenzelektricität zweiter Art gemessen wurde, deren Verhältnifs zu der erregenden Elektricitätsmenge der grofsen Kugel sich folgendermafsen ergiebt.

169 Nach §. 206 verhält sich bei Berührung zweier Kugeln von den Radien 1 und 4 die mittlere elektrische Dichtigkeit der kleinen Kugel zu der der grofsen wie 1,3 zu 1; das Verhältnifs ihrer Elektricitätsmengen ist daher 1,3 zu 16. Nach der Messung des vorigen Paragraphs hat also die Elektricitätsmenge der achtzölligen Kugel $\frac{16.66}{1,3}$ betragen, nachdem sie von der kleinen berührt worden war. Vor der Berührung mufste die Menge, nach dem angegebenen Verhältnisse der Theilung, $\frac{1}{12}$ mehr betragen, und ferner mufs der Verlust an Elektricität durch Zerstreuung während der Zeit der beiden Messungen in Rechnung gebracht werden, welcher Verlust von Coulomb zu $\frac{1}{20}$ angegeben wird. Wir haben daher die Elektricitätsmenge der grofsen Kugel an dem Zeitpunkte, wo die der kleinen bestimmt wurde $= \frac{16.66}{1,3}\ (1 + \frac{1}{12} + \frac{1}{20})$ oder 921 Grad. Die Elektricitätsmenge der kleinen Kugel betrug 21 Grad, also 0,023 wenn die der grofsen 1 angenommen wird.

Ein gleiches Verhältnifs der erregten Elektricität zur erregenden wurde gefunden, als die grofse Kugel gröfsere oder geringere Elektricitätsmengen erhielt, so dafs also jenes Verhältnifs unabhängig von der angewandten Elektricitätsmenge blieb. Dasselbe findet bei jeder Form und Stellung des erregenden wie des erregten Leiters statt. Man elektrisire einen Leiter, lasse ihn auf einen andern influencirend wirken, und bestimme an dem letzteren die Dichtigkeit eines bezeichneten Punktes, dieselbe sei $= a$. Bringt man nun die Elektricitätsmenge des ersten Leiters auf $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ (§. 45.), so findet man die Dichtigkeit des bezeichneten Punktes $\frac{a}{2}$ oder $\frac{a}{4}$. Wir wer-

Digitized by Google

den später aus theoretischen Betrachtungen folgern, dafs die [169]
Anordnung auf dem influencirten Leiter durch die Elektricitätsmenge des influencirenden nicht geändert worden, und es mufs also die Elektricitätsmenge des influencirten Leiters in dem Versuche auf $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{4}$ gesunken sein. ***Die Menge der Influenzelektricität jeder Art ist unter sonst gleichen Umständen proportional der Elektricitätsmenge des ursprünglich elektrisirten Leiters.*** Einen andern indirecten Beweis dieses wichtigen Satzes wird man bei den Wirkungen der elektrischen Batterie finden (§. 387.).

In der Nähe eines Leiters, der die Elektricitätsmenge $+e$ 170
erhalten hat, stehe ein neutraler Leiter, so erhält dieser durch Influenz an seinem nächsten Ende die Elektricitätsmenge $-e'$, an seinem fernsten $+e'$. Das negative Zeichen deutet an, dafs die Elektricitätsart der des ursprünglich elektrisirten Leiters entgegengesetzt ist. Da nach dem ausgesprochenen Satze e' proportional mit e ist, so setzt man $e' = me$, und nimmt m für das Maafs der erregten Influenzelektricität, wie es schon im vorigen Paragraphe geschehen ist. Die Gröfse m ändert sich mit Form, Lage und Entfernung der beiden nahestehenden Leiter, und mufs für jeden in dieser Rücksicht verschiedenen Fall neu bestimmt werden. Die §. 169 angegebene Messung ist nur bei Kugelreihen anwendbar, und auch da nur in dem speciellen Falle, wo die eine Influenzelektricität ganz und gar auf eine Kugel beschränkt ist. Die folgende Methode zur Bestimmung von m ist hingegen allgemein anwendbar, wenn man den influencirten Leiter in zwei beliebig geformte Stücke theilen kann, von welchen jedes Stück die Influenzelektricität Einer Art vollständig enthält. Von dem Bestehen dieser, für jede Methode unerläfslichen, Bedingung überzeugt man sich durch Prüfung der Stelle, an welcher der influencirte Leiter getheilt wird, die gänzlich unelektrisch sein mufs. Wir haben also einen elektrisirten Leiter A, der die unbekannte Elektricitätsmenge e besitzt, und das isolirte Stück B des influencirten Leiters, das die Elektricitätsmenge e' erhalten hat (das Zeichen von e' unbestimmt gelassen); es soll der Werth $\frac{e'}{e} = m$ gefunden werden. Man berühre den Leiter A, während er allein steht, an

Digitized by Google

[170] einem beliebigen bezeichneten Punkte mit einer Prüfungskugel, bringe diese in die Torsionswage, und bestimme die Torsion t bei constanter Elongation des Balkens (§. 88.). Bezeichnet a eine Constante, so hat man $t = ae$. Dann rücke man den Leiter B an A, verbinde ihn leitend damit, und berühre an dem so zusammengesetzten Leiter einen beliebigen bezeichneten Punkt mit der Prüfungskugel, die in der Wage die Torsion t' gebe. Wenn a' eine neue Constante bedeutet, so hat man $t' = a'(e + e')$ und hieraus das gesuchte Verhältnifs

$$\frac{e'}{e} = \frac{a}{a'} \cdot \frac{t'}{t} - 1 \quad \ldots . \text{ I.}$$

Hierin ist das für die angewandten Leiter und gewählten Berührungspunkte constante Verhältnifs $\frac{a}{a'}$ zu bestimmen. Man benutzt den Leiter B, ohne dafs er früher einen Theil des influencirten Leiters ausgemacht hat, und führt die beschriebenen Messungen von t und t' aus. Es ist dann in der Gleichung $e' = o$ und $\frac{a}{a'} = \frac{t}{t'}$ welchen speciellen Werth man in jene einsetzt.

171 In der Gleichung I. ist das Zeichen von e' unbestimmt geblieben, damit dieselbe für jede der beiden Influenzelektricitäten gelte. Man sieht, dafs die rechte Seite negativ werden mufs, wenn die Influenzelektricität erster Art gemessen wird, weil alsdann e' und e mit entgegengesetzten Zeichen versehen sind. Da indefs das Verhältnifs $m = \frac{e'}{e}$ positiv gesetzt ist, so hat man in diesem Falle

$$m = 1 - \frac{a}{a'} \frac{t'}{t}$$

Diese Formel wird angewendet, wenn die Influenzelektricität eines nicht isolirten Leiters gemessen werden soll. Die Punkte, an welche die Prüfungskugel angelegt wird, sind sorgsam zu wählen. Würde man nämlich an dem einfachen und dem zusammengesetzten Leiter denselben Punkt oder Punkte von nahe gleicher Dichtigkeit zur Prüfung wählen, so würde die Torsion t' in vielen Fällen sehr verschieden von t sein, wodurch die Genauigkeit der Messungen in der Wage, die schnell nach einander angestellt werden müssen, verringert

Digitized by Google

würde. Um diesen Nachtheil zu vermeiden und t' möglichst [171] nahe an t zu bringen, wählt man am einfachen Leiter einen Punkt von geringer, am zusammengesetzten einen Punkt von grofser Dichtigkeit. Wo Influenzelektricität zweiter Art zu messen ist, mufs die Wahl in entgegengesetzter Art stattfinden. — Es ist von selbst klar, dafs je zwei Torsionen, die zur Bildung eines Verhältnisses in obiger Gleichung benutzt werden, auf denselben Zeitpunkt der Messung reducirt sein müssen. In den später angeführten Beispielen (§. 327[a]) habe ich mich zu diesem Zwecke der Methode der gepaarten Prüfungskörper bedient.

Elektrische Dichtigkeit einzelner Punkte influencirter Leiter.

Dichtigkeit auf einer Kugelreihe. Bei zwei zwei- 172
zölligen einander berührenden Kugeln, die in der Entfernung von 2 Zoll durch eine achtzöllige Kugel erregt werden, ist die mittlere positive Dichtigkeit (Dichtigkeit positiver Elektricität) der einen Kugel der mittleren negativen Dichtigkeit der andern gleich, da jede Kugel eine gleiche Menge von Elektricität erhält (§. 168.). Nimmt man eine Reihe von mehr als zwei Kugeln, so findet die Gleichheit der Dichtigkeit auf den beiden Endkugeln nicht statt. Coulomb[1]) untersuchte vier zweizöllige einander in gerader Linie berührende Kugeln, die von einer in 2 Zoll Entfernung stehenden achtzölligen positiv elektrisirten Kugel influencirt wurden (Fig. 48.). Nimmt man die mittlere Dichtigkeit der grofsen Kugel 1 an, und nennt d_1 und d_4 die mittlere Dichtigkeit der ersten und vierten Kugel, so ergab die Messung

$$d_1 = -0{,}67 \qquad d_4 = 0{,}45$$

Die negative Elektricität der nächsten Kugel hatte also eine gröfsere Dichtigkeit als die positive Elektricität der entferntesten.

---

[1]) *Mémoires de l'Acad. Paris.* 1788.* 678.

Digitized by Google

173 **Dichtigkeit auf einem nicht isolirten Cylinder.** Coulomb[1]) hat über die elektrische Dichtigkeit auf einem nicht isolirten Cylinder, der einer elektrisirten Kugel so genähert war, dafs seine verlängerte Axe den Mittelpunkt der Kugel traf, eine gröfsere Reihe von Versuchen angestellt. Der Cylinder wurde in verschiedene Entfernungen von der achtzölligen Kugel gebracht, und bei jeder Entfernung wurde die Dichtigkeit des der Kugel nächsten Endes des Cylinders mittels einer kleinen Prüfungsscheibe oder Kugel bestimmt. Diese Dichtigkeit änderte sich im Verhältnisse der Potenz $\frac{3}{2}$ der Entfernung des Cylinderendes von dem Mittelpunkte der Kugel. Ist also R der Radius der Kugel, a der Zwischenraum zwischen Kugel und Cylinder, und d die Dichtigkeit des Endes am Cylinder, so ist

$$d = \frac{n}{(a+R)^{\frac{3}{2}}}$$

wo n eine Constante bezeichnet. Wurden Cylinder verschiedener Dicke angewendet, so verhielten sich die Dichtigkeiten der Cylinderenden umgekehrt wie die Radien der Cylinder. Es ist daher, wenn r den Radius des Cylinders bedeutet

$$d = \frac{n}{r(a+R)^{\frac{3}{2}}}$$

unter der Beschränkung, dafs r gegen R sehr klein sei.

174 Coulomb bestimmte mit der Prüfungsscheibe die Dichtigkeit verschiedener Punkte auf einem, durch Influenz der achtzölligen Kugel erregten, nicht isolirten Cylinder. Die Dichtigkeit jedes Punktes ist zugleich die des Kreises, der durch einen normalen Schnitt des Cylinders gebildet wird (Fig. 49.). Diese Dichtigkeiten, auf verschiedenen Punkten gemessen, standen im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung des zugehörigen Kreisschnittes vom Mittelpunkte der Kugel. So stand die Dichtigkeit auf dem Kreise g zu der auf dem Kreise h im Verhältnisse $\overline{Ch}^2$ zu $\overline{Cg}^2$. Nur gegen das Ende des Cylinders, in einer Ausdehnung von 4

[1]) *Mém. de l'Acad. Par.* 1788.* 686.

Digitized by Google

bis 5 Cylinderdurchmessern, wuchs die Dichtigkeit in einem [174]
gröfseren Verhältnisse als dem angegebenen. Diese Zunahme des Verhältnisses ist von der Fläche abhängig, die den Cylinder schliefst. War die Fläche, wie in der Figur, eine Halbkugelfläche, so war die Dichtigkeit des äufsersten Punktes *a* mehr als doppelt so grofs, wie die des Punktes *f*, der um einen Cylinderdurchmesser von jenem entfernt liegt. Die Entfernung des Cylinders von der Kugel änderte dies Verhältnifs nicht.

Es wurde ferner die elektrische Dichtigkeit auf Punkten 175
desselben Cylinders gesucht, der von Kugeln verschiedenen Halbmessers erregt war. Bringt man eine gleiche mittlere Dichtigkeit auf zwei verschiedenen Kugeln hervor, und setzt successiv denselben Cylinder in eine gleiche Entfernung von dem Mittelpunkte jeder Kugel, so verhalten sich die Dichtigkeiten eines bestimmten Punktes auf dem Cylinder in beiden Fällen, nach Coulombs Messungen, wie die Quadrate der Halbmesser der Kugeln. Dies Resultat deutet auf die Eigenschaft der Kugelfläche, auf einen entfernten Punkt so zu wirken, als ob ihre elektrische Masse in ihrem Mittelpunkte vereinigt wäre. Die Elektricitätsmengen der beiden Kugeln sind gleich ihren Oberflächen multiplicirt in ihre mittlere elektrische Dichtigkeit, sind also proportional den Quadraten ihrer Halbmesser, und dasselbe Verhältnifs zeigt sich in den Dichtigkeiten der von den Mittelpunkten der Kugeln gleich entfernten Punkte des Cylinders.

Die elektrische Dichtigkeit d des freien Endes eines nicht 176
isolirten Cylinders, der einer elektrisirten Kugel bis zum Zwischenraume a in gerader Linie genähert ist, wird nach den vorhergehenden Paragraphen durch folgenden Ausdruck dargestellt. Es sei R Radius der Kugel, D ihre mittlere elektrische Dichtigkeit, r der Radius des Cylinders, so ist d mit D ungleichnamig, und zwar

$$d = -\frac{nDR^2}{r(a+R)^{\frac{3}{2}}}$$

Um die Constante n zu bestimmen, isolirte Coulomb eine positiv elektrisirte Kugel von 8 Zoll Durchmesser, und

Digitized by Google

[176] näherte ihr einen nicht isolirten Cylinder von 1 Zoll Durchmesser bis $2\frac{1}{2}$ Zoll. Die verlängerte Axe des Cylinders traf den Mittelpunkt der Kugel, der Cylinder war durch eine Halbkugel geschlossen. Eine Prüfungsscheibe, die successiv den äufsersten Punkt der Halbkugel des Cylinders und irgend einen Punkt der grofsen Kugel berührt hatte, wurde in die Torsionswage gebracht, deren Wagebalken mit der grofsen Kugel gleichnamig elektrisirt war. Das Maafs der Anziehung durch die Probescheibe nach der ersten Berührung, dividirt durch das Maafs der Abstofsung nach der zweiten, gab im Mittel aus mehreren Versuchen das Verhältnifs 4. Auf dem Punkte des Cylinders, der 1 Zoll vom Ende entfernt war, wurde eine elektrische Dichtigkeit gefunden, die sich zu der am Ende wie 1 zu 2,5 verhielt. Für das Ende des Cylinders hat man folgende Werthe in die gegebene Formel einzusetzen:

$$d = -4D \qquad R = 4 \qquad r = 0{,}5 \qquad a = 2{,}5$$

Hieraus erhält man $n = 2{,}07$ und die vollständige Formel

$$d = -\frac{2{,}07\,D.R^2}{r(a+R)^{\frac{3}{2}}}$$

worin alle Längen in Pariser Zollen auszudrücken sind.

177 Dichtigkeit der Mitte einer Planscheibe. Coulomb stellte eine leitende Kreisscheibe von 16 Zoll Durchmesser so vor eine achtzöllige Kugel, dafs die Scheibe normal auf der Verbindungslinie der Centra von Kugel und Scheibe stand. Die Scheibe war 4 Zoll von der Kugelfläche entfernt, in ihrer Mitte befand sich eine kreisrunde Oeffnung von 2 Zoll Durchmesser, in welche eine Scheibe gleicher Gröfse genau pafste, die mittels eines Stieles auf die gewöhnliche Art in die Torsionswage gebracht werden konnte (Fig. 50.). Nachdem diese Prüfungsscheibe an ihre Stelle gesetzt und die grofse Kugel positiv elektrisirt war, wurde die grofse Scheibe am Rande ableitend berührt, und die Prüfungsscheibe in die Wage gebracht. Die Anziehung dieser Scheibe gegen den positiv elektrisirten Wagebalken wurde gemessen, die Scheibe darauf entladen, und mit ihr die grofse Kugel an einer beliebigen Stelle berührt. Die nun erfolgende Abstofsung des Wagebalkens durch die Prüfungsscheibe geschah mit vierfach gröfserer Kraft als die war, mit der sie früher den Balken

Digitized by Google

angezogen hatte. Auf der Rückseite der grofsen Scheibe konnte [177]
auch mit dem empfindlichsten Elektroskope keine Elektricität bemerkt werden. Hiernach sind die Angaben der Prüfungsscheibe zu verstehen. Da diese Scheibe bei Berührung der Kugel eine doppelt so grofse Elektricitätsmenge aufgenommen hatte, als die berührte Stelle besafs (§. 112.), dieselbe aber, als sie die Mitte der Kreisscheibe einnahm, nur die Elektricitätsmenge erhielt, die dieser Stelle zukam, so folgt hieraus, dafs die elektrische Dichtigkeit der Mitte der Kreisscheibe $\frac{1}{2}$ war von der Dichtigkeit der Kugel. Auf gleiche Weise bestimmte Coulomb die Dichtigkeiten der Mitte der Scheibe bei verschiedener Entfernung von der Kugel, und fand dafs diese Dichtigkeiten, die einer Elektricität von entgegengesetzter Art zugehörten, als die war, welche die Kugel besafs, sich genau umgekehrt verhielten, wie die Quadrate der Abstände der Scheibe von dem Mittelpunkte der Kugel.

Lage der Indifferenzzone. Beschränkt man die Un- 178
tersuchung in einzelnen Fällen auf die Lage der Theile des influencirten Leiters, welche die eine und die andere Elektricitätsart besitzen, so erhält man eine Kenntnifs der Indifferenzzone. Fechner[1]) hat eine Reihe solcher Prüfungen angestellt, von welchen folgende die bemerkenswerthesten sind. Eine Prüfungsscheibe, mit welcher verschiedene Stellen des untersuchten influencirten Leiters berührt worden, wurde an das Säulen-Elektroskop angelegt, und gab die Elektricitätsart der berührten Stelle an. Eine positiv elektrisirte Messingkugel von 3 Zoll Durchmesser wirkte vertheilend auf eine isolirte Kupferscheibe, 9 Zoll 4 Linien im Durchmesser, 0,35 Linie dick, welche ihr normal gegenübergestellt war (so dafs die Verbindungslinie der Centra beider Körper winkelrecht auf der Scheibe stand). Die Scheibe fand sich auf ihrer ganzen, von der Kugel abgewandten, Rückfläche und auf einem Theile der Vorderfläche positiv elektrisch. Da der übrige Theil der Vorderfläche negativ elektrisch war, so gab es auf dieser Fläche eine Zone, auf welcher die Prüfungsscheibe keine Elektricität empfing. Bei 2 Zoll Abstand der Kugel von der Scheibe

[1]) Poggend. Annal. 51. 321 ff.

Digitized by Google

[178] war diese Indifferenzzone ungefähr $\frac{1}{2}$ Zoll von dem Rande der Scheibe entfernt. Als die Scheibe in der Mitte eine runde Oeffnung von einigen Linien Durchmesser hatte, fand sich dessen ungeachtet auf ihrer ganzen Rückseite positive Elektricität.

Ein Zinkstreifen von 5 Zoll 7 Linien Länge, 10 Linien Breite und 1 Linie Dicke wurde der positiv elektrisirten Kugel normal gegenübergestellt. Die ganze Rückfläche und ein Theil der Vorderfläche, nahe den Enden des Streifens, war positiv. Bei den Abständen 1 und 2 Zoll des Streifens von der Kugel lagen die Indifferenzlinien innerhalb des ersten Zolles von den Enden.

Ein eiserner Cylinder, 12 Zoll lang 4,2 Linien dick, wurde der positiv elektrischen Kugel so gegenübergestellt, dafs die Centrallinie auf der Axe des Cylinders winkelrecht stand. Der mittlere Theil der Vorder- und der Rückfläche des Cylinders war negativ elektrisch, jede Fläche aber an den Enden positiv. Hier waren also auf jeder Fläche zwei Indifferenzzonen. Bei dem Abstande 1 Zoll des Cylinders von der Kugel, lagen diese Stellen auf der Vorderfläche zwischen 2 und 3 Zoll vom Ende, auf der Rückfläche zwischen 1 und 2 Zoll.

Zwei Stahldräthe von 1,8 Linie Dicke, der eine 3 Zoll der andere $12\frac{1}{4}$ Zoll lang, wurden successiv der positiv elektrischen Kugel in 2 Zoll Entfernung normal gegenübergestellt, der mittlere Theil der Rückfläche war bei dem kurzen Drathe positiv, bei dem langen negativ elektrisch.

Die positiv elektrische Kugel wurde in einen Blechcylinder von 3 Zoll 6 Linien Durchmesser, 2 Zoll 8 Linien Höhe, 0,18 Linie Wanddicke gehängt, so dafs also die dreizöllige Kugel in der nächsten Entfernung 3 Linien von dem Cylindermantel entfernt blieb, und oben und unten 2 Linien vorragte. Die ganze Aufsenfläche des Cylinders war positiv, und aufserdem noch ein schmaler Ring am Rande der Innenfläche.

Influenzelektricitäten auf Nichtleitern.

179 Dafs ein elektrisirter Körper durch Influenz auf Nichtleiter wirkt, ist leicht zu zeigen. Hält man einen leitenden isolirten Cy-

Digitized by Google

linder einige Minuten lang in der Nähe einer elektrisirten Kugel, [179]
die von der verlängerten Axe des Cylinders getroffen wird, und entfernt ihn sodann, so findet man ihn mit Elektricität geladen, die der der Kugel ungleichnamig ist. Dies rührt daher, dafs die Influenzelektricität zweiter Art an dem vom elektrisirten Körper entfernteren Ende des Cylinders eine stärkere Verminderung durch Zerstreuung erfahren hat, als die Elektricität der influencirenden Kugel, und daher auch als die Influenzelektricität erster Art des Cylinders. Bei dem Entfernen der Kugel sind daher auf dem Cylinder beide Influenzelektricitäten nicht mehr in gleicher Menge vorhanden, und es bleibt die überschüssige Menge der Influenzelektricität erster Art übrig. Denselben Erfolg erhält man nun an einem Schellackcylinder, den man in die Nähe der elektrisirten Kugel bringt, oder schneller, wenn man mit ihm die Kugel berührt. Der Schellack zeigt sodann Elektricität entgegengesetzter Art, als die ist, welche die Kugel besitzt, und die offenbar nur durch Influenz erregt werden konnte. Direct kann man die Influenzelektricität der Isolatoren an dem Vertheilungsapparate (Fig. 46.) aufzeigen. Das Ende eines Glas- oder Schellackstabes gegen das divergirende untere Pendel *b* gehalten, stöfst dasselbe zurück, weil das Ende wie das Pendel durch die Kugel *e* Influenzelektricität erster Art erhalten hat. Das Hervortreten der Influenzelektricität einer Art setzt nothwendig das der andern Art voraus, so dafs es genügt, nur die eine Art bemerklich gemacht zu haben. Es ist indessen nicht schwer, auch an Nichtleitern beide Influenzelektricitäten aufzuzeigen.

Aepinus [1]) befestigte eine Glasröhre *AB* (Fig. 51.) auf einem Tische, so dafs das Ende *A* einige Fufs vor demselben hervorragte. Eine geriebene Glasröhre *C*, diesem freien Ende genähert, brachte keine bemerkbare Wirkung auf die neutrale Glasröhre hervor. Als aber das Ende *A* mehremal mit der elektrischen Röhre gerieben worden war, fand sich auf dem Stücke *AE* der liegenden Röhre, in einer Länge von 4 bis 5 Zoll, positive Elektricität, auf dem darauffolgenden Stücke

[1]) *Tentamen theor. electr.* 194.

Digitized by Google

[179] ED von ungefähr 2 Zoll negative, und darüber hinaus zwischen D und B schwache aber unzweifelhaft positive Elektricität. Elektricitäten entgegengesetzter Art wurden gefunden, als die Glasröhre C mit einer geriebenen Schwefelstange vertauscht worden war. Es ist also an dem Stücke AE der Glasröhre mitgetheilte Elektricität, auf dem Stücke ED Influenzelektricität erster Art, und auf DB Influenzelektricität zweiter Art aufgezeigt worden.

180 Auf indirecte Weise läfst sich die Influenzelektricität zweiter Art auf Isolatoren an einem Apparate bemerkbar machen, den Faraday[1]) angegeben hat. Drei fünfzöllige Messingscheiben A, B, C (Fig. 52.) sind mit zugewandten Flächen, in gleicher Entfernung von einander, auf isolirenden Füfsen vertical aufgestellt. Von den beiden äufsersten Scheiben B und C gehen Dräthe aus, die, durch eine Glasglocke E hindurchgeführt, an ihren freien Enden Goldblättchen tragen. Theilt man der mittleren Scheibe A schwache positive Elektricität mit, so divergiren die Goldblättchen in der Glasglocke. Die Scheibe A wirkt nämlich influencirend auf die beiden äufsersten Scheiben, und es tritt von beiden Influenzelektricität zweiter Art (hier also positive) in die Goldblättchen. Man entferne diese Elektricität durch ableitende Berührung der Scheiben B und C, so dafs die Goldblättchen einander parallel hangen. Wird nun eine $\frac{3}{4}$ Zoll dicke Schellackscheibe von 4 Zoll Durchmesser, D, zwischen die mittlere und eine äufsere Scheibe, z. B. zwischen A und B gebracht, so tritt eine Anziehung der Goldblättchen b und c ein, wobei sich zeigt, dafs das Blättchen b positiv elektrisch geworden ist. Dies ist eine Wirkung der Influenzelektricität zweiter Art auf die Scheibe B. Die mittlere Scheibe A nämlich elektrisirt die Schellackscheibe D durch Influenz, so dafs die ihr zugewandte Fläche derselben negativ, die von ihr abgewandte positiv elektrisch ist. Beide Influenzelektricitäten wirken auf die Scheibe B, aber die Elektricität zweiter Art (hier positive) stärker als die erster Art, da ihre Entfernung von jener Scheibe um die ganze Dicke der Schellackscheibe kleiner ist. Es erfolgt also

[1]) *Experim. research.* al. 1307.

Digitized by Google

eine neue Influencirung der Metallscheibe *B*, derzufolge positive [180]
Elektricität in das Goldblättchen *b* tritt. Da das mit der andern Scheibe verbundene Goldblättchen *c* unelektrisch geblieben ist, so wird es von *b* angezogen. Dieser Versuch lehrt zugleich, dafs die Influenzelektricitäten wiederum influencirend, und zwar in ganz derselben Weise wirken, wie eine mitgetheilte Elektricität. Man hat einen gleichen Erfolg des Versuches, wenn man an die Stelle der Schellackscheibe eine isolirte Metallscheibe setzt, der man auch positive Elektricität mittheilen kann. Nach Knochenhauer[1]) ist dieser Versuch an dem Säulenelektroskope mit geringerer Mühe anzustellen. Auf den Stift des Elektroskops wird eine horizontale Messingplatte aufgeschraubt, und in einiger Entfernung über ihr eine zweite Messingplatte mit zugewandter Fläche isolirt befestigt. Man theilt der oberen Platte Elektricität (z. B. positive) mit, und berührt zugleich die Platte des Elektroskops mit dem Finger, so dafs das Goldblatt unbewegt bleibt. Bringt man nun eine $6\frac{1}{2}$ Linien dicke Schellackplatte zwischen die beiden Metallplatten, so zeigt das Goldblatt sogleich positive Elektricität an, und diese Anzeige wird verstärkt, wenn man die Schellackplatte gegen das Elektroskop hin bewegt. Auch hier bedingt die Influenzelektricität zweiter Art der Schellackscheibe den Erfolg, und derselbe steigt beim Hinabbewegen der Scheibe, weil alsdann das Verhältnifs der Entfernungen der beiden Influenzelektricitäten, die sich auf entgegengesetzten Flächen des Schellacks befinden, von der Platte des Elektroskops gröfser wird.

Die Isolatoren sind der Influenz durch nahestehende elek- 181
trisirte Körper ebenso ausgesetzt, wie die Leiter, aber es treten dabei Modificationen der Erscheinung ein, die durch die erschwerte Verbreitung der Elektricität über die Nichtleiter leicht erklärt werden. Bei den Leitern wirkt die Influenz augenblicklich in gröfster Stärke, bei den Isolatoren ist hierzu Zeit nöthig, so dafs die Influenzerscheinungen allmälig zunehmen. Der Zustand des influencirten Leiters hört mit dem Entfernen des influencirenden sogleich auf, bei dem Isolator dauert

[1]) Poggend. Ann. 51, 125.

Digitized by Google

[181] dieser Zustand noch einige Zeit fort. Die Anordnung der Influenzelektricitäten, die bei dem Leiter so wesentlich von seinen Dimensionen bedingt wird, ist bei dem Isolator weniger von den Dimensionen abhängig, da auch nach längerer Zeit nur ein Theil des Isolators von der Influenz ergriffen wird. Wie die isolirende Eigenschaft der Isolatoren bedeutenden Schwankungen unterliegt, so nimmt auch die Leichtigkeit ab und zu, mit welcher sie die Influenzerscheinungen zeigen. Hiernach ist das Studium der Influenz an Nichtleitern nicht ergiebig an allgemein gültigen Resultaten, aber es ist nöthig, um vor den Fehlschlüssen zu bewahren, die eine Nichtbeachtung dieser Influenz bei allen Versuchen veranlassen würde, bei welchen isolirende Stützen und Zwischenplatten gebraucht werden.

Sechstes Kapitel.

Einfache Folgen und Anwendungen der Influenz.

182 Bei allen Versuchen über die ins Gleichgewicht gekommene Elektricität tritt die Influenz ins Spiel und ändert den Erfolg, wenn sie ihn nicht allein bedingt. Wir werden deshalb auf die Influenz stets achtsam sein müssen. Aber schon bei den Grundwirkungen der Elektricität kommen Versuche vor, die allein durch Influenz erklärlich sind, und ferner sind aus einigen Versuchen wichtige Folgerungen zu ziehen, die nur nach Kenntniſs der Influenz klar gemacht werden können. Das bisher nothwendigerweise Uebergangene oder nur Angedeutete kann nun vollständig vorgetragen werden.

Digitized by Google

Anziehung neutraler Körper.

Eine Thatsache die, schon von Thales erwähnt, eine [182]
lange Zeit hindurch die einzig bekannte elektrische Erscheinung war, das Anziehen nämlich leichter Körper durch geriebenen Bernstein, beruht auf Influenz, und darf daher nicht als einfache elektrische Wirkung aufgeführt werden. Neutrale Körper werden von einem elektrisirten Körper weder angezogen noch abgestofsen, elektrische Anziehung findet nur zwischen ungleichnamig elektrisirten Körpern statt. Indem aber ein elektrisirter Körper einem neutralen genähert wird, erfährt der letztere die Influenz, und nun kann unter geeigneten Umständen Anziehung zwischen beiden Körpern eintreten. Der geriebene Bernstein z. B. ist negativ elektrisch, einem Strohhalme genähert entwickelt er in dem ihm nächsten Ende des Halmes Influenzelektricität erster Art, hier also positive Elektricität, und es findet nun Anziehung zwischen dem negativ elektrischen Bernsteine und dem positiv elektrischen Ende des Halmes statt. Die Influenzelektricität zweiter Art, hier die negative Elektricität, des anderen Endes des Strohhalmes ist der Anziehung hinderlich, und ihre Wirkung wird nur durch die gröfsere Nähe überwogen, in welcher die positive Elektricität sich vom Bernsteine befindet. Hiernach mufs die Anziehung des Halmes desto schwieriger erfolgen, je geringer seine Dimension in der Richtung der nächsten Entfernung zwischen Bernstein und Halm ist, eine Folgerung, die dadurch geschwächt wird, dafs der Strohhalm bei geringerer Dimension ein geringeres Gewicht hat. Der Einfluſs der Influenzelektricität zweiter Art tritt aber deutlich hervor, wenn man denselben Strohhalm auf verschiedene Unterlagen bringt, und ihn vom Bernsteine anziehen läfst. Liegt der Halm auf einer isolirenden (Schellack-) Platte, so wird er von dem Bernsteine erst in viel gröfserer Nähe angezogen, als wenn man ihn auf eine Metallplatte gelegt hatte. Im letzten Falle ist nämlich die Influenzelektricität zweiter Art auf dem Strohhalme nicht vorhanden, die in dem ersten Falle die Anziehung erschwerte. Gäbe es einen Körper, der keine Influenz erführe, so würde er von einem elektrisirten Körper nicht angezogen werden;

Digitized by Google

[182] solche Körper giebt es nicht, aber die Influenz ergreift jeden Körper desto schwerer, je besser er isolirt. Man lasse eine kleine Schellackkugel an einem Faden schweben, und nähere ihr eine geriebene Siegellack- oder Glasstange von der Seite. Die Kugel wird bei einer gewissen Entfernung der elektrisirten Stange nur wenig angezogen und von der Verticalen abgelenkt sein; diese Ablenkung wird aber sichtlich zunehmen, wenn man die Kugel anhaucht und ihre Oberfläche dadurch leitend macht. Die Stärke der Anziehung ist durch die der Influenz, und diese durch den leitenden Zustand des influencirten Körpers bedingt.

183 Ist der neutrale Körper nicht kugelförmig, so erfährt er, aufser der Anziehung, eine Drehung um seinen Schwerpunkt in der Art, dafs seine längste Dimension gegen den elektrisirten Körper gerichtet wird. Eine Nadel, die horizontal, und eine Scheibe, die vertical an einem Faden aufgehängt ist, richtet sich, bei behutsamer Annäherung eines elektrisirten Körpers, so dafs die Nadel mit einem Ende, die Scheibe mit dem Rande dem Körper zugekehrt ist. Es leuchtet ein, dafs in der längsten Dimension beide Influenzelektricitäten am weitesten auseinander treten können, und daher eine von ihnen am stärksten wirken kann. Daher richtet sich auch ein Körper, der zwar nach allen Richtungen symmetrisch geformt ist, aber in einer Richtung besser leitet, als in jeder anderen. Eine vollkommen homogene Glasscheibe, die man horizontal in ihrem Mittelpunkte aufgehängt hat, kommt durch Annäherung eines elektrisirten Körpers nicht in Drehung, sondern wird von diesem an jedem Punkte ihres Randes angezogen. Macht man aber durch Anheftung eines Stanniolfadens einen Durchmesser der Scheibe leitend, so wird die Scheibe gedreht, bis ein Ende des Stanniolfadens dem elektrischen Körper gegenübersteht. Eine kleine Holzscheibe, deren Fasern in der Ebene der Scheibe liegen, wird gedreht bis die Richtung der Fasern dem elektrischen Körper zugekehrt ist. Die Influenzelektricitäten treten in der besser leitenden Richtung schneller und weiter auseinander, als in der anderen (§. 181.). Knoblauch[1]) hat

[1]) Poggend. Ann.* 83. 294.

Digitized by Google

eine ähnliche Drehung an Körpern beobachtet, die in verschie- [183]
denen Richtungen ungleich dicht sind. Man rühre feingeriebenes Glaspulver mit Gummiwasser zu einem Teige, drücke diesen durch eine schwere Platte zusammen, und schneide daraus einen kleinen Cylinder (etwa 4 Linien hoch, $3\frac{1}{4}$ Linien breit), dessen Axe winkelrecht gegen die Richtung der Zusammendrückung steht. Wird der gut getrocknete Cylinder in seiner Axe an einen Coconfaden gehängt, so dreht er sich bei Annäherung einer geriebenen Siegellackstange, bis dem Siegellack derjenige Durchmesser des Cylinders nahe gekommen ist, welcher auf der (am Cylinder vorher bezeichneten) Richtung der Zusammendrückung winkelrecht steht. Es ist also die Influenz am stärksten in der Richtung, in welcher der Cylinder am lockersten ist. Die Wirkung ist so stark, dafs man eine absichtliche Drehung des Cylinders durch die Siegellackstange aufhalten kann. Aufser der Drehung findet hier eine Anziehung des ganzen Cylinders und Ablenkung aus der Verticalebene statt; man kann dies vermeiden, wenn man zwei entgegengesetzt elektrische Körper gleichzeitig auf den Cylinder wirken läfst, ihn in die Mitte zwischen die Polplatten der Säule des Säulenelektroskops (§. 16.) bringt. Der Cylinder bleibt alsdann in der Lage stehen, in welcher die Richtung der Zusammendrückung winkelrecht auf der Verbindungslinie der Polplatten ist. Knoblauch hat diesen Versuch, aufser mit Glas, mit anderen, leitenden und nichtleitenden, Pulvern angestellt: mit schwefelsaurem Baryt und -Kalk, kohlensaurem Kalk und -Eisenoxydul, chromsaurem Bleioxyd, phosphorsaurem Kalk, Braunstein, Eisenoxyd, Antimon und Wismuth. Die aus diesen Pulvern gefertigten Cylinder verhielten sich genau so, wie der Glascylinder. Er brachte ferner zwischen die Polplatten der trockenen Säule Scheiben, die in bestimmter Richtung aus Krystallen geschnitten waren. Es wurden dazu Krystalle gebraucht von Schwerspath, Gyps, Salpeter, Doppelspath, Arragonit, Beryll, Turmalin, Topas und Wismuth; alle Scheiben wurden durch die elektrischen Pole der Säule gedreht, bis die krystallographische Axe jeder Scheibe eine bestimmte Lage gegen die Verbindungslinie der Pole angenommen hatte. Die Vergleichung dieser beiderar-

Digitized by Google

[183] tigen Versuche läfst einen Schluſs auf die Cohäsionsverhältnisse der Krystalle zu.

184 Aepinus, der zuerst die wichtige Consequenz hervorhob, daſs ein neutraler Körper von einem elektrisirten nicht bewegt wird, hat dies durch folgenden lehrreichen Versuch gezeigt, in welchem ein neutraler Körper künstlich dargestellt wird [1]). Zwei gleiche Kreisscheiben aus Spiegelglas, die mit senkrecht auf ihren Flächen stehenden Handgriffen versehen sind, werden mit den freien Flächen stark an einander gerieben; hierdurch wird die Fläche der einen Scheibe positiv, die der andern negativ elektrisch, wovon man sich an einem Elektroskope überzeugt. Man drücke nun die Scheiben mit ihren elektrischen Flächen zusammen, und nähere ihnen eine kleine an einem Coconfaden schwebende Korkkugel dergestalt, daſs die Berührungsfläche der Scheiben verlängert den Mittelpunkt der Kugel trifft. Die Kugel wird, den Scheiben noch so nahe gebracht, in der Verticalen schweben bleiben; zieht man aber eine Scheibe von der andern ab, so wird die Kugel von der stehenbleibenden Scheibe stark angezogen werden. Die Kugel erfährt hier die Influenz von jeder der beiden Scheiben, und zwar, da die Scheiben entgegengesetzt elektrisch sind, so müssen auch die Influenzelektricitäten erster wie zweiter Art auf der Kugel, die von jeder Scheibe herrühren, entgegengesetzter Art sein. So lange die Scheiben zusammenliegen, ist ihre Entfernung von der Kugel genau gleich, und daher auch ihre Influenz auf dieselbe. Die Kugel, zwei gleich starken und entgegengesetzten Influenzen ausgesetzt, bleibt gänzlich unelektrisch und erfährt keine Wirkung von den elektrisirten Scheiben, obgleich beide die Kugel nach derselben Richtung hin anzuziehen streben. Mit dem Abziehen der einen Scheibe wird ihre Entfernung von der Kugel gröſser, als die der andern Scheibe; die Influenz der letztern überwiegt die der ersten, so daſs die Kugel elektrisch und in Folge davon angezogen wird. Wird die abgezogene Scheibe wieder mit der andern in Berührung gebracht, so fällt auch die Kugel in ihre verticale Lage zurück. Die Scheiben können übrigens

[1]) *Tentamen theor.* 131.

Digitized by Google

aus anderm Stoffe, als aus Glas, bestehen, man kann auch die [184]
eine Fläche aus einem Leiter bestehen lassen, nur mufs in diesem Falle die leitende Fläche sehr dünn sein, damit ihre Wirkung der der isolirenden Fläche gleich sei. —

Influenz auf elektrisirte Körper. Anziehung gleichnamig elektrisirter Körper.

Es ist bisher, der Einfachheit wegen, die Influenz auf 185
Körper betrachtet worden, die ursprünglich keine Elektricität besafsen, dieselbe findet aber auch auf elektrisirte Körper statt, und zwar in der Weise, dafs die Influenzelektricitäten sich zu der mitgetheilten Elektricitätsmenge hinzufügen. Aepinus[1]) hat hierüber folgenden Versuch angestellt. Die im §. 184 beschriebenen Spiegelscheiben wurden an einander gerieben und dann von einander getrennt (Fig. 53.), die Korkkugel des elektroskopischen Pendels wurde mit der elektrisirten Fläche der Scheibe *A* in Berührung gebracht, und erhielt von ihr durch Mittheilung Elektricität, (z. B. positive). Als hierauf das Pendel hinter die Scheibe *A* gestellt war, wurde es abgestofsen, seine Divergenz nahm aber ab, als die Scheibe *B* gegen *A* hingeführt wurde, und hörte auf, als beide Scheiben einander berührten. Mit dem Entfernen der Scheibe *B* trat wieder die frühere Divergenz des Pendels ein. In diesem Versuche besafs der influencirte Körper, die Korkkugel *C*, ursprünglich positive Elektricität; sie erhielt durch Influenz der Scheibe *A* gleiche Mengen positiver und negativer Elektricität, und zwar negative Elektricität an dem der Scheibe nächsten Punkte der Kugelfläche. Da die positive Elektricität, obgleich entfernter von der Scheibe, durch die der Kugel ursprüngliche Elektricität vermehrt, im Ueberschufs vorhanden war, so mufste die Kugel von der positiv elektrischen Scheibe abgestofsen werden. Eine neue Elektricitätsentwickelung trat auf der Kugel durch Annäherung der negativ elektrischen Scheibe *B* ein, aber jetzt sammelte sich die entwickelte positive Elektricität

[1]) *Tentamen theor.* 64.

Digitized by Google

[185] auf dem der Scheibe *A* nächsten Punkte der Kugel. Hierdurch würde die Abstofsung der Kugel durch *A* vermehrt werden, wenn nicht die Scheibe *B* selbst die Kugel anzöge, indem die ursprüngliche Elektricität der Kugel der Elektricität der Scheibe *B* entgegengesetzt ist. Diese Anziehung verringert die Divergenz des Pendels. Wenn die elektrisirten Flächen der Scheiben *A* und *B* aufeinanderliegen, so ist die Influenz der Scheibe *A* der der Scheibe *B* auf die Kugel an Stärke gleich aber von entgegengesetzter Art; die Kugel besitzt daher nur die ihr ursprünglich mitgetheilte Elektricität und wird von der Scheibe *A* abgestofsen, von *B* angezogen. Da diese beiden Wirkungen aus gleicher Entfernung und mit gleicher Elektricitätsmenge geschehen, in der Richtung aber entgegengesetzt sind, so kann keine Ablenkung des Pendels aus der verticalen Stellung erfolgen. Ich habe diesen etwas verwickelten Versuch mitgetheilt und verfolgt, um die falsche Vorstellung zu entfernen, die durch denselben erregt worden ist. Es könnte nämlich scheinen, als ob nur die Scheibe *A* abstofsend und influencirend auf die elektrisirte Kugel *C* wirkte, so lange die Scheibe *B* von ihr entfernt ist, und als ob die Wirkung der Scheibe *B* auf die Scheibe *A* beschränkt bliebe und darin bestände, die Elektricität dieser Scheibe je nach der Annäherung mehr und mehr unwirksam zu machen. Diese Vorstellung ist allen anderweitigen Erfahrungen zuwider.

186 Die auf einer elektrisirten Kugel erregte Influenzelektricität hat Aepinus[1]) noch in folgender Weise aufgezeigt. Das elektroskopische Pendel *B* (Fig. 54.) wird über dem horizontalen isolirten Metallcylinder *A* so aufgehängt, dafs bei perpendikulärer Stellung des Pendels, die Korkkugel *B* dem Cylinder sehr nahe kommt, ohne ihn berühren zu können. An der Korkkugel ist ein Coconfaden *Bb* befestigt und über einen Haken *b* horizontal gelegt. Man elektrisire die Kugel *B* (z. B. positiv) und theile zugleich dem Cylinder *A* schwache Elektricität derselben Art (hier positive) mit, so dafs die Kugel von dem Cylinder abgestofsen wird. Elektrisirt man nun den Cylinder stärker, und zieht zugleich den Faden *Bb* an, so dafs

[1]) *Tentam. theor.* 144.

Digitized by Google

sich die Kugel dem Cylinder nähern mufs, so tritt Anziehung [186]
ein und das Pendel bleibt in der verticalen Richtung *C* schweben, bei welcher die Kugel dem Cylinder am nächsten steht. Zieht man den Faden *Bb* stärker an, so dafs die Kugel auf der entgegengesetzten Seite, wie früher, von dem Cylinder entfernt wird, so tritt bei einer gewissen Entfernung wiederum Abstofsung zwischen Kugel und Cylinder ein. Dieser Versuch wird folgendermafsen abgeleitet. Die positiv elektrisirte Kugel *B* wird in jeder Lage von dem positiv elektrisirten Cylinder *A* so influencirt, dafs der ihm nächste Punkt der Kugel negative Elektricität erhält, aber diese Elektricität wird desto stärker sein, je näher die Kugel dem Cylinder steht und je stärker der letztere elektrisirt worden ist. Bei schwach elektrisirtem Cylinder oder bei gröfserer Entfernung desselben von der Kugel wird diese Influenzelektricität erster Art verdeckt durch die der Kugel ertheilte positive Elektricität, zumal da beide Influenzelektricitäten aus wenig verschiedener Entfernung in entgegengesetztem Sinne wirken. Es tritt also Abstofsung zwischen Kugel und Cylinder ein. Nähert man die Kugel dem Cylinder, so werden beide Influenzelektricitäten auf der Kugel verstärkt, aber zugleich ist das Verhältnifs der Entfernungen, aus welcher jene auf den Cylinder wirken, vergröfsert, und es kann der Fall eintreten, dafs die Influenzelektricität erster Art stärker wirkt, als die ihr entgegenwirkende Influenzelektricität zweiter Art und die ursprüngliche Elektricität der Kugel. Alsdann werden Kugel und Cylinder einander anziehen. Unter welchen Bedingungen ein solches Umschlagen der Abstofsung in Anziehung eintritt, kann, da es sich hier um Quantitätsverhältnisse handelt, nur die Rechnung vorausbestimmen. Es tritt bei Kugeln von gleicher Gröfse ein, die ungleich stark elektrisirt sind, und ohne diese Bedingung bei Kugeln ungleicher Gröfse. Dafs jene Erklärung des Versuches richtig sei, hat Coulomb[1]) durch Prüfung elektrisirter Kugeln, die unter gegenseitigem Einflusse stehen, in folgender Weise gezeigt.

---

[1]) *Mém. de l'Acad. Par.* 1787.* 450.

Digitized by Google

187 Zwei gleichnamig elektrisirte Kugeln verschiedener Gröfse wurden in einige Entfernung von einander gestellt; auf der kleinern Kugel wurde der der andern Kugel nächste Punkt mit einem Schrotkorne berührt, das an einem Schellackfaden befestigt, in die Torsionswage gebracht werden konnte. Die Kugeln waren in Berührung mit einander elektrisirt, und enthielten daher Elektricitätsmengen in einem bestimmten Verhältnisse (§. 206.). Als eine positiv elektrisirte Kugel von 11 Zoll Durchmesser einer gleichfalls positiv elektrischen Kugel von 8 Zoll Durchmesser genähert wurde, war der nächste Punkt der kleinen Kugel positiv elektrisch, so lange er um mehr als 1 Zoll von der grofsen Kugel entfernt war, bei 1 Zoll war dieser Punkt unelektrisch, und bei geringerer Entfernung negativ elektrisch. Als die elfzöllige Kugel einer vierzölligen genähert wurde, fing der nächste Punkt der kleinen Kugel an, negativ elektrisch zu werden, wenn die Entfernung der Kugeln weniger als 2 Zoll betrug. Bei Anwendung endlich der elfzölligen Kugel und einer zweizölligen wurde die negative Elektricität des nächsten Punktes der kleinen Kugel bei der Entfernung von 2 Zoll 5 Linien merklich.

188 Die Influenzelektricitäten stören das allgemeine Gesetz, dafs gleichnamig elektrisirte Körper einander abstofsen. Man hat bei Versuchen an der Torsionswage, wo die auf einander wirkenden Kugeln ungleich grofs oder verschieden stark elektrisch sind, eine zu grofse Nähe jener Kugeln zu vermeiden; über diese Nähe hinaus kann von der Influenz abgesehen werden, die den Kugeln stets beide Elektricitätsarten in gleicher Menge ertheilt, weil diese Elektricitäten aus gröfserer Entfernung als gleich stark wirkend angenommen werden können. Dafs Scheiben oder Kugeln, die gleichnamig aber ungleich stark elektrisirt sind, in der Nähe einander anziehen, sieht man, wenn man mit einem Glasstabe die an dem Balken der Wage schwebende Kugel vorsichtig gegen die Prüfungskugel führt; bei einer gewissen Nähe erfolgt dann stets eine Anziehung beider Kugeln, die aber sogleich nach erfolgter Berührung in Abstofsung übergeht. Durch die Berührung erfolgt nämlich eine gleichmäfsige Elektrisirung der Kugeln, bei welcher die Anziehung nicht mehr stattfindet.

Digitized by Google

Auch bei Influenzelektricitäten derselben Art, die gleich- 189
namig aber von verschiedener Stärke sind, läfst sich die Anziehung in grofser Nähe zeigen. Man gebe in dem Vertheilungsapparate (Fig. 46.) der Kugel *e* positive Elektricität, so dafs das Pendel *b* mit negativer, das Pendel *a* mit positiver Elektricität divergirt, und nähere der Kugel *b* das Ende eines horizontalen nicht isolirten Drathes. In einiger Entfernung gehalten stöfst das Drathende die Kugel *b* ab, aber bei gröfserer Nähe wird die Kugel heftig angezogen und sodann abgestofsen. Das Ende des nicht isolirten Drathes nämlich ist stärker negativ elektrisch als die Kugel *b*, welche zu einem isolirten Leiter gehört. Es tritt bei einer gewissen Entfernung die Anziehung beider gleichartig elektrisirten Körper ein, weil das Drathende den ihm nächsten Punkt der Kugel durch Influenz positiv zu elektrisiren vermag. Ist dann Berührung der Kugel mit dem Drathende eingetreten, so war hierdurch die Isolation des Leiters *a b* aufgehoben, und die Kugel *b* erhielt von der Kugel *e* durch Influenz ebenso starke negative Elektricität, wie das dargebotene Drathende besitzt, es mufste daher die Anziehung wieder in Abstofsung übergehen. Durch Influenz elektrisirte Leiter verhalten sich demnach in eben der Weise gegen einander, die bei den durch Mittheilung elektrisirten bemerkt worden ist.

Mittheilung der Elektricität.

Als eine Grundeigenschaft der Elektricität ist die Mit- 190
theilung genannt worden, derzufolge ein Leiter, der einen elektrisirten Leiter berührt, elektrisch wird und den elektrischen Zustand des letzteren vermindert. Ist der angelegte Leiter mit der Erde in Verbindung, und dadurch als unendlich grofs zu betrachten, so wird der ursprünglich elektrisirte Leiter gänzlich unelektrisch, was als eine Ableitung seiner Elektricität aufgefafst worden ist (§. 21.). Hierbei ist die Vorstellung nahe gelegt, den elektrisirten Leiter einem mit einer Flüssigkeit gefüllten Gefäfse zu vergleichen, den angelegten Leiter einem leeren Gefäfse, das mit jenem in Verbindung gesetzt, einen

Digitized by Google

[190] Theil der Flüssigkeit in sich aufnimmt oder, wenn es nicht gesperrt ist, vollständig durch sich abfliefsen läfst. Diese Vorstellung, welche den angelegten Leiter völlig passiv erscheinen läfst, hält aber nicht Stich; wir lassen sie daher gänzlich fallen und suchen die Bedingungen auf, unter welchen die Mittheilung der Elektricität von einem Leiter zum andern stattfindet. Hierzu dient die bisher gewonnene Kenntnifs der Influenz. Wenn man einen elektrisirten Körper einem Leiter nähert, so erhält der nächste Punkt des letzteren Elektricität entgegengesetzter Art, und die Dichtigkeit dieser Elektricität nimmt zu mit abnehmender Entfernung. Dies findet statt, der dargebotene Leiter mag ursprünglich unelektrisch sein, oder mit der des elektrischen Körpers ungleichnamige Elektricität besitzen, oft auch wenn beide Körper gleichnamig elektrisch sind. Je näher die beiden Leiter einander kommen, desto gröfser wird die Dichtigkeit an den beiden nächsten, entgegengesetzt elektrischen, Punkten der Leiter, und bei der Berührung dieser Punkte tritt Mittheilung der Elektricität von einem Leiter zum andern ein. Sind die beiden Leiter mit gleichnamiger Elektricität versehen, so kommt es auf das Verhältnifs ihrer Elektricitätsmengen an, ob die nächsten Punkte der einander genäherten Leiter entgegengesetzt elektrisch werden, oder nicht. Auf zwei einander gleichen Leitern, die gleiche Elektricitätsmengen besitzen, sind die einander nächsten Punkte bei der Näherung stets gleichnamig elektrisch; auf zwei ungleich grofsen Leitern, deren Elektricitätsmengen in einem bestimmten Verhältnisse stehen, sind zwar bei einer gewissen Entfernung die nächsten Punkte entgegengesetzt elektrisch, die elektrische Dichtigkeit dieser Punkte nimmt aber nur bis zu einer gewissen Nähe der Leiter zu, und sodann ab bis zur vollkommenen Berührung. In diesen Fällen findet keine Mittheilung von Elektricität statt, denn das dazu nöthige Verhältnifs der Elektricitätsmengen ist gerade das, welches den Leitern bei der Berührung zukommt. Auf Leitern kommt die Influenz augenblicklich zu Stande, und so geschieht auch die Mittheilung; je weniger ein Körper leitend ist, desto längere Zeit verlangt die Influenz, und desto länger währt auch die Mittheilung von Elektricität. Ueberall hängt also die Mit-

Digitized by Google

theilung mit der Influenz zusammen; aus dem Verhalten der [190]
Körper in einiger Entfernung von einander ist das bei ihrer Berührung vorherzusagen; wo Mittheilung von Elektricität geschieht, läfst sich der entgegengesetzt elektrische Zustand der Stellen aufzeigen, welche die Mittheilung vermitteln. Wir kommen hiernach zu dem Schlusse: ***Mittheilung von Elektricität findet nur zwischen entgegengesetzt elektrischen Körpertheilen statt.***

Bringt man zwei Körpertheile in Berührung, die gleich- 191
namig elektrisch sind oder von welchen der eine unelektrisch ist, so ist eine Mittheilung von Elektricität zwischen ihnen nicht möglich. Beispiele hiervon geben die Influenzelektricitäten. Es sei in dem Vertheilungsapparate (Fig. 46.) der cylindrische Leiter *a b* durch die Kugel so elektrisirt, dafs bei *b* negative, bei *a* positive Elektricität vorhanden ist. Jede dieser Elektricitäten kann einem dargebotenen Leiter mitgetheilt werden, wenn nur die zur Mittheilung nöthige Bedingung erfüllt ist. Eine kleine leitende Scheibe, an das Ende *a* angelegt, wird vor der Berührung mit diesem Ende auf seiner freien Fläche negativ elektrisch, denn es wirkt auf diese Fläche nur die positive Elektricität des Endes *a* wesentlich ein, während die Wirkung des negativen Endes *b* und die der positiven Kugel *e* sich gegenseitig aufheben. Es findet daher zwischen dem angelegten Scheibchen und dem Ende *a* Mittheilung von Elektricität statt, so dafs ersteres positiv elektrisch wird, und die Elektricitätsmenge des Endes *a* abnimmt. Verwickelter ist der Vorgang, wenn die Scheibe an das Ende *b* angelegt wird. Vor der Berührung mit diesem Ende wird die Scheibe von der Kugel *e* mit beiden Elektricitätsarten elektrisirt, da diese aber wegen der Kleinheit der Scheibe nahe bei einander liegen, so können sie nicht hindern, dafs die starke negative Elektricität des Endes *b* die ihm zugewandte Fläche der Scheibe stark positiv elektrisirt. Bei der Berührung kommen also entgegengesetzt elektrisirte Körpertheile an einander, es findet Mittheilung statt, und die negative Elektricität des Endes *b* nimmt ab, während die Scheibe negativ elektrisch abgehoben wird.

Digitized by Google

192 Bei Anwendung einer kleinen Scheibe findet also Mittheilung von Elektricität statt an jedem Ende des cylindrischen Leiters *a b*. Dies ist nicht der Fall, wenn der angelegte Leiter eine andere Form und gröfsere Dimensionen besitzt. An das Ende *a* angelegt, wird der Leiter stets positive Elektricität empfangen, da sein Berührungspunkt von der positiven Elektricität des Endes negativ elektrisirt wird; was aber bei dem Anlegen an das Ende *b* geschieht, hängt davon ab, ob der Berührungspunkt des angelegten Leiters unelektrisch, ob er positiv oder negativ elektrisch ist. Es sei der Leiter dem Cylinder *a b* genau gleich, und er werde an den letzteren unter einem spitzen Winkel angelegt. Bei *a* wird, wie früher, das angelegte Ende des Leiters negativ, und es theilt sich ihm positive Elektricität mit, bei *b* hingegen erhält das untere Ende des angelegten Leiters durch die influencirende Kugel negative Elektricität und zwar von derselben Dichtigkeit, welche das Ende *b* selbst besitzt. Beide negativ elektrischen Theile wirken influencirend auf einander, es kommen daher Körpertheile in Berührung, die unelektrisch sind, und es findet zwischen ihnen keine Mittheilung von Elektricität statt. Es sei der cylindrische Leiter *a b* wieder isolirt und wie zu Anfange elektrisirt. Man lege an ihn bei *a* einen mit der Erde verbundenen Leiter, z. B. den Finger, so wird die Fingerspitze am Berührungspunkte negativ sein, positive Elektricität von dem Leiter aufnehmen, und diese Elektricität vollständig ableiten. Wird der Finger an den Leiter bei *b* angelegt, so wird er vor der Berührung von der Kugel *e* negativ elektrisirt, und zwar mufs, da er nicht isolirt ist, die Dichtigkeit seiner Elektricität gröfser sein, als die des Endes *b*. Der Finger wird daher das Ende *b* so stark influenciren, dafs es bei der Berührung positiv elektrisch ist, und von dem Finger negative Elektricität aufnimmt. Das Ende *b* wird so lange negative Elektricität empfangen, bis es ebenso stark elektrisch ist, wie der Finger selbst, das heifst bis es die Elektricitätsmenge besitzt, die ihm zukommt, wenn der Leiter *a b* selbst nicht isolirt ist. Hier ist es für den Erfolg gleichgültig, ob der Finger an das Ende *a* oder *b* des cylindrischen Leiters angelegt wird.

Digitized by Google

Es giebt viele Fälle der Berührung des durch Influenz [192]
elektrisirten Leiters, in welchen sich die Mittheilung der Elektricität nicht durch allgemeine Betrachtungen ableiten läfst; ich habe die einfachsten Fälle angeführt, um zu zeigen, dafs die Mittheilung der Influenzelektricitäten denselben Bedingungen unterliegt, wie die der ursprünglich erregten Elektricität. Es wäre sehr erwünscht, wenn der Zustand elektrisirter Leiter, die unter gegenseitigem Einflusse stehen, überall der Rechnung unterworfen werden könnte, ein Unternehmen, dem sich bisher unüberwindliche Schwierigkeiten in den Weg gestellt haben.

Was den Akt der Mittheilung der Elektricität selbst be- 193
trifft, so haben wir bisher angenommen, dafs von dem einen Leiter zum andern Elektricität übergeht, und diese sich nach den Gesetzen des elektrischen Gleichgewichtes auf dem Leiter anordnet. In der That ist dies nicht der Fall, und es findet keine directe Mittheilung von Elektricität statt, sondern ein Vernichten von Influenzelektricität erster Art auf dem Leiter, so dafs die entsprechende Influenzelektricität zweiter Art übrig bleibt. Um dies anschaulicher zu machen, sei z. B. ein positiv elektrischer Leiter mit einem neutralen in Berührung gesetzt; wir wissen, dafs alsdann beide Leiter positiv elektrisch werden, und die Elektricitätsmenge des ursprünglich elektrisirten Leiters abgenommen hat. Dieser Erfolg ist so abzuleiten. Ehe die Berührung beider Leiter eintrat, waren auf dem neutralen Leiter beide Influenzelektricitäten vorhanden, und zwar befand sich negative Elektricität an den dem elektrisirten Leiter nächsten Punkten jenes Leiters. Kurz vor der Berührung und bei derselben verbindet sich diese negative Elektricität mit einem Theile der positiven des elektrisirten Leiters, und beide Elektricitäten verschwinden. Es sei dabei an dem elektrisirten Leiter der Theil $\frac{1}{n}$ seiner anfänglichen Elektricitätsmenge verschwunden, so wird zugleich an dem neutralen Leiter die Elektricitätsmenge $-\frac{1}{n}$ (Influenzelektricität erster Art) vernichtet sein, und daher auf dem Leiter $+\frac{1}{n}$ (Influenzelektricität zweiter Art) übrig geblieben sein. Der ursprünglich elektrisirte Leiter, der anfänglich die Elektricitäts-

Digitized by Google

[193] menge $+1$ befafs, hat daher nach der Berührung mit dem neutralen die Elektricitätsmenge $+\left(1-\frac{1}{n}\right)$, dagegen der neutrale Leiter die Menge $+\frac{1}{n}$. Der Erfolg ist also ganz derselbe, wenn wir, von den Influenzelektricitäten absehend, voraussetzen, es sei die Elektricitätsmenge $+\frac{1}{n}$ von dem elektrisirten auf den neutralen Leiter übergegangen. Der Kürze wegen werde ich auch ferner diese bequemere Redeweise gebrauchen, bei der man sich, wo es nöthig ist, des naturgemäfsen Vorganges zu erinnern hat.

Anwendung der Influenz bei den Elektroskopen.

194 Der Gebrauch der Elektroskope, wie er §. 6 angegeben ist, bleibt eingeschränkt, und würde viele Untersuchungen sehr umständlich und zeitraubend machen. Eine grofse Erleichterung erhält man, wenn man die Influenz dabei anwendet, und statt den zu untersuchenden Körper mit dem Leiter des Elektroskops in Berührung zu setzen, ihn nur influencirend darauf wirken läfst. Auch bei der, der Prüfung vorangehenden, Ladung des Elektroskops ist die Influenz mit Vortheil anzuwenden. Ich habe gesagt, dafs zur sicheren Anzeige das Elektroskop vorläufig mit eben der Elektricität zu laden ist, die man prüft. Der Grund hiervon ist jetzt einleuchtend. Ein neutraler Körper nämlich, der an das geladene Elektroskop angelegt wird, bringt diesem ungleichartige Elektricität hinzu, und es kann daher bei schwacher Elektricität geschehen, dafs man Anzeige von ungleichartiger Elektricität zu haben meint, wo nur ein unelektrischer Körper gewirkt hat. Es ist immer nöthig zur Controle einer solchen Beobachtung die Elektricitätsart des Elektroskops zu wechseln. Dies kann nun sehr wohl mit einem und demselben elektrischen Körper geschehen, z. B. mit geriebenem Siegellack. Es sei AB (Fig. 55.) der Leiter des Elektroskops (ein Drath mit Pendeln oder Goldblättchen); um ihn positiv zu elektrisiren, bringt man das ge-

Digitized by Google

riebene Siegellack der Kugel *A* nahe, und berührt die Kugel [194]
zugleich mit dem Finger; zieht man dann den Finger zurück und entfernt endlich das Siegellack, so bleibt der Leiter positiv geladen zurück. Es ist dies die §. 164 angeführte Influenzerscheinung. Um den Leiter *AB* negativ zu elektrisiren, gebraucht man am leichtesten das Siegellack direct, indem man es der Kugel *a* entlang gleiten läfst. Bei sehr trockener Luft geht indefs nur wenig Elektricität in den Leiter über; alsdann haucht man die Siegellackstange vor dem Anlegen an die Kugel an, wodurch ihre Oberfläche leitend gemacht wird und nun leicht ihre Elektricität abgiebt. Man mufs sich begreiflicherweise hüten, die Siegellackstange bis zur Hand hin anzuhauchen, da hierdurch ihre Elektricität gröfstentheils zur Erde abgeleitet werden würde. Umständlicher geschieht die negative Ladung des Leiters durch Influenz. Hierzu gebraucht man einen cylindrischen Leiter *C* (Fig. 56.), der an einer isolirenden Handhabe auf die Kugel des Elektroskops aufgesetzt wird. Die geriebene Siegellackstange wird an das Ende *C* des aufgesetzten Leiters gehalten; zieht man den Leiter *C* fort, so bleibt das Elektroskop negativ geladen zurück. Auch dieser Fall ist in §. 164 bereits beschrieben.

Der Hauptvortheil, den die Influenz bei der Elektroskopie 195
gewährt, tritt bei der Prüfung selbst ein. Man nähert den zu prüfenden Körper der Kugel des Elektroskops von oben her, und beobachtet die Bewegung der divergirenden Pendel oder Goldblättchen. Eine vermehrte Divergenz zeigt an, dafs der genäherte Körper dieselbe Elektricitätsart besitzt, mit der das Elektroskop geladen war, eine verminderte, dafs beide Elektricitäten ungleichnamig sind. Indem nämlich der elektrisirte Körper der Kugel *A* (Fig. 55.) von oben her genähert wird, wird der Leiter *AB* durch Influenz elektrisch, die Influenzelektricität zweiter Art tritt in das Ende *B*, und zeigt die Elektricitätsart des erregenden Körpers an. Ist das Elektroskop z. B. positiv geladen, so zeigt ein stärkeres Divergiren der Pendel an, dafs die Influenzelektricität zweiter Art positiv, also von einem positiv elektrischen Körper erregt sei. Bei dem Entfernen des geprüften Körpers wird der frühere Zustand des Elektroskops wieder hergestellt, und man kann daher

Digitized by Google

[195] die Prüfung eines Körpers oft wiederholen, ohne eine neue Ladung des Elektroskops nöthig zu haben.

Es ist darauf zu sehen, dafs der geprüfte Körper der Kugel des Elektroskops aus gröfserer Ferne langsam genähert werde, da sonst leicht ein Irrthum begangen werden kann. Ist nämlich die Elektricität des genäherten Körpers mit der des Elektroskops ungleichnamig und dabei von bedeutender Stärke, so wird bei langsamer Annäherung die Divergenz im Elektroskope vermindert bis die Pendel zusammenfallen; kommt aber der Körper der Kugel des Elektroskops noch näher, so divergiren die Pendel aufs Neue. Hier ist nämlich die Influenzelektricität in so grofser Menge vorhanden, dafs die Elektricität des Elektroskops ganz überwogen wird, und eine Divergenz eintritt, die allein der Influenzelektricität zugehört. Ist die Annäherung zu schnell geschehen, so wechselt das Zusammenfallen der Pendel mit der erneuten Divergenz so schnell, dafs ersteres leicht übersehen, und man zu dem falschen Schlusse verleitet werden kann, die Elektricitätsart des geprüften Körpers sei der des Elektroskops gleichartig.

196 Auch bei dem empfindlichen Säulenelektroskope (§. 16.) läfst man den zu prüfenden Körper nur durch Influenz auf den Knopf wirken, und hat hierbei ebenfalls ein jähes Annähern des Körpers zu vermeiden. Es kommt hier darauf an, einen bestimmten Ausschlag des Goldblattes nach einer der beiden Polplatten zu veranlassen, den Ausschlag aber nie so stark werden zu lassen, dafs das Goldblatt nach Entfernung des geprüften Körpers nicht mehr in seine verticale Lage zurückkehrt. Kommt das Goldblatt nicht zurück, so ist der Knopf des Elektroskops ableitend zu berühren, und zugleich die Schliefsung der Säule durch Druck gegen den Schliefsungsstab zu bewirken. — Einen Irrthum eigener Art erzeugt die Influenz an diesem Instrumente, wenn der obere Theil der aufgesetzten Glasglocke durch zufällige Berührung mit dem Finger oder dem Rockärmel elektrisirt worden ist (§. 18.). Das Goldblatt steht alsdann unter dem Einflusse des positiv elektrisirten Glasstückes, und eine ableitende Berührung des Knopfes bringt denselben Ausschlag hervor, wie das Anbringen von negativer Elektricität. Vor der Anwendung des Säulenelektroskops hat

Digitized by Google

man daher stets darauf zu achten, ob eine ableitende Berüh- [196]
rung des Knopfes einen Ausschlag des Goldblattes nach der negativen Marke verursacht, und ob das Goldblatt mit aufgehobener Ableitung in seine erste Lage zurückkehrt. Ist dies der Fall, so ist dies ein Zeichen, dafs die Glasglocke an der Seite, an welcher die Ableitung des Knopfes geschehen ist, elektrisch geworden; man haucht alsdann die Glasglocke bis zur Fassung stark an, und leitet durch Berührung des Knopfes die Elektricität des Glases ab.

Elektricitäten der Körper im natürlichen Zustande.

Nachdem die elektrische Influenz als Thatsache aufge- 197
zeigt, und die Mittheilung der Elektricität auf sie zurückgeführt worden ist, bleibt noch übrig, dem Grunde der Influenz selbst näher zu treten. Hierbei verläfst man den Boden des Experimentes und mufs zu einer Hypothese Zuflucht nehmen. Die empirische Physik kann die Hypothese nicht entbehren, da sie ohne sie aus lauter vereinzelten Thatsachen bestehen würde, aber sie gestattet nur die Hypothese, die auf dem Experimente fufst, das heifst die Verallgemeinerung eines unter besonderen Umständen angestellten Versuches ist. — Ein elektrisirter Körper versetzt jeden in seiner Nähe befindlichen neutralen Körper in einen eigenthümlichen elektrischen Zustand; dieser Grundsatz der Influenz weist auf den neutralen Körper hin und auf sein elektrisches Verhalten, ehe er die Influenz erfahren hat. Wir haben im Vorhergehenden Veranlassung gefunden, einen neutralen Körper künstlich zusammenzusetzen. Im §. 184 verhielt sich eine Korkkugel gänzlich indifferent, als sie von zwei gleichen Elektricitäten, die sich auf zwei an einander gelegten Spiegelscheiben befanden, aus gleicher Entfernung im entgegengesetzten Sinne influencirt wurde. Die Kugel stellte einen neutralen Körper dar; aber die Spiegelscheiben thun dies nicht minder, auf die wir jetzt unser Augenmerk richten. Zwei einander berührende Spiegelscheiben, deren zusammenliegende Flächen entgegengesetzt elektrisch sind, äufsern

Digitized by Google

[197] keine elektrische Wirkung, und verhalten sich wie eine einzige Scheibe, die im natürlichen neutralen Zustande geblieben ist. Entfernt man aber jene beiden Flächen räumlich von einander, so zeigt sich jede von ihnen elektrisch, und zwar ist die Elektricität der einen Fläche mit der der andern ungleichnamig. Sieht man von der nichtleitenden Eigenschaft des Glases ab, so wird es leicht, die Trennung der beiden elektrischen Schichten, die sich auf den aneinanderliegenden Scheibenflächen befinden, ohne Entfernung der Scheiben von einander zu bewirken. Es werde nämlich eine dritte elektrisirte Scheibe parallel in die Nähe der zusammengelegten Scheiben gestellt; nach dem Grundsatze der elektrischen Anziehung und Abstofsung wird sich die mit der dritten Scheibe ungleichnamig elektrische Schicht im Innern des Glases zu jener Scheibe hinbewegen, die gleichnamig elektrische von ihr entfernen, und die beiden Elektricitäten, die früher, als sie nahe zusammenlagen, nicht wirkten, werden jetzt einzeln auf einen dargebotenen Körper wirken können. Der Erfolg ist dem ganz analog, der bei einer neutralen leitenden Scheibe eintritt, auf die jene dritte elektrisirte Scheibe influencirend wirkt. Wären uns die beiden elektrisirten Glasflächen zusammengekittet übergeben worden, so hätten wir uns von ihrer vorläufigen entgegengesetzten Elektrisirung nicht überzeugen können; wir hätten nach dem Versuche aussagen müssen, eine neutrale Glasscheibe werde von einer elektrisirten Scheibe, die in ihrer Nähe steht, in der Art elektrisirt, dafs beide entgegengesetzte Elektricitätsarten an verschiedenen Stellen der ersten Scheibe zum Vorschein kommen. Dies ist nun gerade das Princip der Influenz, und die Vermuthung liegt nahe, dafs wir uns in Betreff der natürlichen Körper in einem ähnlichen Falle befinden, wie bei den beiden zusammengekitteten Glasscheiben. Wir können die beiden entgegengesetzt elektrischen Schichten an keine bestimmte Stelle des natürlichen Körpers versetzen, da jeder Theil des Körpers der Influenz ebenso unterworfen ist, wie der ganze Körper, und es wird auch das kleinste materielle Theilchen mit diesen Schichten versehen sein müssen. Hiernach kommen wir zu der Hypothese: ***in jedem Theilchen eines Körpers im natürlichen Zustande sind beide Elektricitäten und zwar in gleicher Menge vorhanden.***

Digitized by Google

Der Körper im natürlichen Zustande wirkt darum nicht 198
elektrisch, weil von jedem seiner Punkte aus beide Elektricitäten zugleich wirksam sind. Werden die beiden Elektricitäten durch irgend einen Vorgang an verschiedene Stellen des Körpers versetzt, so sind diese Stellen elektrisch; von einander getrennt, geben sie Stücke, die Eine Elektricitätsart im Ueberschufs enthalten, und positiv und negativ elektrisirt genannt werden. Ein solcher Vorgang ist die Influenz, indem ein elektrisirter Körper in einem neutralen die ihm gleichnamige Elektricität abstöfst, die ungleichnamige anzieht. Mit jener Hypothese über die Constitution der natürlichen Körper fällt also die Influenz als eigenthümliche Wirkung der Elektricität fort, und wird eine nothwendige Folge der Anziehung und Abstofsung der beiden Elektricitäten.

Das helle Licht, welches Franklin in die Kenntnifs der Elektricität warf, ging von der Betrachtung des natürlichen Zustandes der Körper aus. Dieser grofse Physiker nahm zuerst an, dafs Elektrisiren in einer Störung des elektrischen Zustandes bestehe, in dem sich alle Körper befinden; die Auffassung dieses Zustandes war aber eine andere, als die hier gegebene. Die grofsen Fortschritte, welche die Elektricitätslehre der Franklinschen Ansicht über den elektrischen Zustand der Körper verdankt, fordern dazu auf, dieselbe hier historisch zu erwähnen.

Nach jener Ansicht besitzt jedes Körpertheilchen Elektri- 199
cität derselben Art in einer sehr grofsen aber bestimmten Menge, und wirkt nicht elektrisch, so lange es diese Menge besitzt. Theilt man dem Körpertheilchen mehr Elektricität mit, oder entzieht man ihm Etwas von seiner natürlichen Elektricität, so wird dasselbe in den einen oder andern elektrischen Zustand versetzt, den man, wie noch jetzt gebräuchlich ist, den positiv oder negativ elektrischen Zustand nennt. Ein positiv elektrischer und ein gleich stark negativ elektrischer Körper werden, zusammengelegt, beide unelektrisch, weil die Menge Elektricität, die der erste zu viel hat, den Mangel des letztern ausgleicht. Auf leichte Weise ergiebt sich die Influenz durch einen positiv elektrischen Körper. Indem der Körper mit seinem Ueberschusse an Elektricität auf die natürliche Elektricität des neutralen Körpers wirkt, wird in diesem die

Digitized by Google

[199] Elektricität von dem ihm zugewandten Ende nach dem abgewandten Ende hingedrängt, und das erste Ende enthält weniger Elektricität als früher, ist also negativ, das letzte enthält mehr davon oder ist positiv elektrisch. Schwieriger ist die Influenz durch einen negativ elektrischen Körper nach dieser Hypothese abzuleiten; es wird dabei der Erfolg abhängig gemacht von einer Anziehung, die zwischen den elektrischen und materiellen Theilchen stattfindet. Aber auch diese Anziehung genügt nicht zur Erklärung anderer elektrischen Erscheinungen, und man ist zur Annahme einer Wirkung der materiellen Theilchen auf einander genöthigt, die durch keine Versuche unterstützt wird.

200 Diese neue Wirkung ergiebt sich aus der Betrachtung der bekannten Thatsache, dafs zwei im natürlichen Zustande befindlichen Körper nicht elektrisch auf einander wirken und, frei beweglich neben einander aufgehängt, in Ruhe bleiben. Es seien die Massen dieser beiden Körper m und m', und die in ihnen enthaltenen natürlichen Elektricitätsmengen e und e', so hat man nach der Franklin'schen Theorie folgende Wirkungen der beiden Körper auf einander, wobei die, welche die Körper zu nähern streben, mit dem positiven Zeichen versehen sind.

e stöfst e' ab, äufsert die Kraft $-r$
m zieht e' an - - - $+a$
m' zieht e an - - - $+A$
m wirkt auf m' mit der Kraft x

Damit die beiden Körper in Ruhe bleiben, müssen diese Kräfte einander aufheben oder ihre Summe mufs Null sein

$$-r+a+A+x=0$$

Irgend eine Elektricitätsmenge wird von einer Masse mit derselben Stärke angezogen, mit der sie von der natürlichen Elektricität dieser Masse zurückgestofsen wird; es ist daher $a-r=0$ und zuletzt $x=-A$. Wie aus diesem Werthe der unbestimmt gelassenen Kraft x hervorgeht, stofsen die Körpermassen einander ab.

Aepinus[1]), der diese Consequenz der Franklin'schen Theorie entwickelt hat, findet darin keinen Widerspruch gegen

[1]) *Tentamen theoriae electric.* 36.

Digitized by Google

die allgemeine Gravitation, nach welcher die Körpermassen [200]
einander anziehen, da bei der letzteren Naturkraft wirklich existirende, also schon mit ihrer natürlichen Elektricität versehene Massen, betrachtet werden, während die obige Entwickelung die Massen von jeder Elektricität befreit annimmt.

Die Franklin'sche Hypothese ist nicht so einfach, wie sie 201
beim ersten Anblicke erscheint. Sie nimmt nur Eine Elektricität an, aber drei verschiedene Wirkungen, nämlich: Abstofsung der elektrischen Theile unter einander, Anziehung der materiellen und elektrischen Theile, Abstofsung der materiellen Theile unter einander. Nimmt man hierzu, dafs diese Hypothese nicht entscheiden kann, welcher elektrische Zustand der von einem Ueberflusse an Elektricität herrührende, also wirklich positive ist, dafs ihre Ableitungen, die von Aepinus versucht worden sind, nur qualitative Versuche dargestellt haben und verschieden geführt werden müssen, je nachdem in Versuchen positive oder negative Elektricität angewendet worden, so erscheint jene Hypothese für die empirische Elektricitätslehre von geringerer Bedeutung, als die einfachere und bei Weitem bequemere Hypothese, nach welcher wir bisher den elektrischen Erscheinungen gefolgt sind. Diese Hypothese, die dualistische oder Symmer'sche genannt, bleibt bei den Versuchen stehen, und nimmt die beiden elektrischen Zustände für wesentlich verschieden, indem sie ihnen zwei Ursachen, die beiden Elektricitäten, zuschreibt. Jede dieser Elektricitäten, für sich genommen, wirkt in gleicher Weise, aber beide vereint bleiben ohne Wirkung. Ein materielles Theilchen kann sich daher in drei verschiedenen elektrischen Zuständen befinden, indem es beide Elektricitäten in gleicher Menge oder eine von ihnen im Ueberschusse enthält. Diese supponirten Zustände sind nicht verwickelter als die, welche die Franklin'sche Theorie annimmt, Elektricität in bestimmter Menge oder mehr oder weniger, sie gestatten aber aufserdem eine bequemere und gleichmäfsigere Ableitung der Erscheinungen. Wenn man ferner diese beiden Elektricitäten mit Flüssigkeiten vergleicht, die gewisse Eigenschaften besitzen, so geschieht dies, um analytische Formeln auf sie anzuwenden, die für solche Flüssigkeiten entwickelt worden sind. Die Resultate, welche durch diese theoretische

Digitized by Google

[201] Ableitung einiger elektrischen Erscheinungen gewonnen worden sind, stimmen auf merkwürdige Weise mit den Ergebnissen der Versuche, wie sogleich in der ausführlichen Mittheilung ersichtlich sein wird. Was aber die eigentliche Beschaffenheit der Elektricität betrifft, so ist jene Ableitung nicht umfassend genug, um nach ihr eine bestimmte Vorstellung als die wahrscheinlichere herauszustellen.

Siebentes Kapitel.

Berechnung der Anordnung der Elektricität auf Leitern.

202 Obgleich die von Poisson[1]) ausgeführte Berechnung der elektrischen Anordnung sich auf nur wenige specielle Fälle erstreckt, so ist sie der experimentellen Elektricitätslehre wichtig geworden durch ihre Uebereinstimmung mit früheren von Coulomb angestellten Versuchen, und durch die klare Einsicht, die sie in die Natur der Influenz gewährt. Folgende Annahmen werden der mathematischen Behandlung zu Grunde gelegt.

Alle elektrischen Erscheinungen rühren von zwei verschiedenen unwägbaren Flüssigkeiten her, die allen Körpern der Natur beigegeben sind. Die Theilchen der einen Flüssigkeit stofsen einander nach dem reciproken Quadrate ihrer Entfernung ab, und ziehen die Theilchen der andern nach gleichem Gesetze an; in gleicher Entfernung ist Abstofsung und Anziehung einander gleich, so dafs ein Körpertheilchen, das beide Elektricitäten in gleicher Menge besitzt, keine Wirkung äufsert,

[1]) *Mémoires de la classe des sciences mathématiques de l'institut de France.* année 1811. *p.* 1. *suiv. p.* 163 *suiv.*

Digitized by Google

und daher unelektrisch erscheint. Wo sich elektrische Wir- [202]
kungen zeigen, findet sich ein Ueberschufs der einen Elektricitätsart über die andere in demselben Körpertheilchen. Die Stoffe verhalten sich verschiedentlich gegen die Elektricität; während die besseren Leiter keine Wirkung auf die Elektricität ausüben und ihr gestatten, sich in dem Innern der Leiter nach allen Richtungen frei zu bewegen, setzen die Isolatoren der Elektricität einen Widerstand entgegen, der die Bewegung derselben erschwert. In den Leitern, die hier allein betrachtet werden, setzt sich die Elektricität nach eigenen Gesetzen in Gleichgewicht. Wird nämlich eine Menge einer Elektricitätsart einem Leiter mitgetheilt, so verbreitet sie sich in einer dünnen Schicht über die Oberfläche des Leiters und wird daselbst durch die umgebende Luft zurückgehalten. Aeufserlich ist diese Schicht durch die Oberfläche des Leiters selbst begränzt, innerlich erstreckt sie sich bis zu einer kleinen Entfernung in die Masse des Leiters, und hat daselbst ihre freie Oberfläche. Die Form der elektrischen Schicht ist durch das Gleichgewicht der Repulsionen aller elektrischen Theilchen bestimmt, und dies würde zuerst verlangen, dafs die freie Oberfläche der Schicht an jedem Punkte normal auf der Resultante der Repulsionen stehe. Es läfst sich aber eine andere Bedingung für das Gleichgewicht der elektrischen Schicht geben, nämlich: dafs die Resultante der Wirkungen aller elektrischen Theilchen auf einen, im Innern des von der elektrischen Schicht eingeschlossenen Raumes, willkürlich angenommenen Punkt Null sei. Hiermit wird zugleich die Resultante an allen Punkten der freien Oberfläche der Schicht verschwinden und diese eine Gleichgewichtsfläche sein. Poisson hielt die ausgesprochene Bedingung für nothwendig, damit die Anordnung der Elektricität auf dem Leiter eine beharrlich fortdauernde sei, weil, wenn sie fehlte, die Elektricitäten, die den Körpertheilchen im Innern des Leiters von Natur aus beigegeben sind, zersetzt werden, und sich zu der vorhandenen Schicht an der Oberfläche hinzufügen würden. Gaufs hat neuerdings [1]) die Bedingung hin-

[1]) Götting. gelehrte Anzeigen 1840.* 492. Vergl. Allgemeine Lehrsätze etc. in den Resultaten des magnet. Vereins 1839.

Digitized by Google

[202] reichend gefunden, dafs die freie Oberfläche der elektrischen Schicht eine Gleichgewichtsfläche sei, weil hiervon die Wirkungslosigkeit der Schicht auf jeden im Innern des Leiters befindlichen Punkt eine nothwendige Folge ist.

203 Die Frage über die Anordnung der Elektricität auf der Oberfläche eines leitenden Sphäroids verlangt die Bestimmung der Dicke der elektrischen Schicht an jedem Punkte der Oberfläche desselben, dergestalt, dafs die Resultante der Wirkungen aller Punkte auf einen im Innern des Sphäroids beliebig gewählten Punkt Null sei. Wenn die Form der elektrischen Schicht bestimmt ist, so geben die Formeln über die Attraction der Sphäroide die Wirkung der Schicht auf einen an der Oberfläche gelegenen Punkt. Diese Formeln zeigen direct, dafs auf einem von einer Kugel wenig abweichenden Sphäroide, oder auf einem Revolutions-Ellipsoide, an jedem Punkte der Oberfläche die elektrische Abstofsung proportional der Dicke der Schicht an demselben Punkte ist, ein Satz, der sich durch eine anderweitige Betrachtung auf einen Leiter von beliebiger Form ausdehnen läfst. Der Druck der elektrischen Schicht gegen die Luft, die sie begränzt, ist an jedem Punkte im zusammengesetzten Verhältnisse der Abstofsung und der Dicke der Schicht daher dem Quadrate dieser Dicke proportional.

Das Princip zur Berechnung der Form der elektrischen Schicht auf einem einzeln stehenden Leiter dient zugleich zur Bestimmung der Schicht auf Leitern, die unter gegenseitigem Einflusse stehen. Das Princip verallgemeinert sich dann folgendermafsen: Wenn mehrere leitende beliebig elektrisirte Körper, die unter gegenseitigem Einflusse stehen, zu einem permanenten elektrischen Zustande gelangt sind, so ist die Resultante der Wirkungen der sie bedeckenden elektrischen Schichten auf jeden im Innern eines dieser Körper liegenden Punkt, gleich Null. Ist umgekehrt diese Resultante in Bezug auf einen Punkt Null, so ist die elektrische Schicht auf jedem Körper im Gleichgewichte. Befindet sich ein unvollkommener Leiter unter den betrachteten Körpern, der der Elektricität keine freie Beweglichkeit gestattet, so ist auf seine Wirkung Rücksicht zu nehmen, ohne dafs das Princip der Wirkungslosigkeit aller elektrischen Schichten auf einen Punkt in seinem Innern Anwendung findet.

Digitized by Google

Poisson hat aus diesen Principien die Anordnung der 204
Elektricität auf Kugeln, unter anderen Fällen auch dafür bestimmt, wenn zwei beliebig elektrisirte Kugeln sich in einiger Entfernung von einander befinden. Die für diesen Fall entwickelte Formel gilt auch dann, wenn die eine Kugel vor dem Versuche unelektrisch war, ihre Elektricität also erst durch Influenz der andern Kugel erregt wird. Hiernach erscheint die Influenz nothwendig bedingt durch das Gleichgewicht, in welches sich die Elektricitäten von zwei einander genäherten Körpern setzen, und die Influenzelektricität ihrer Natur und Wirkung nach völlig identisch der durch Mittheilung einem Körper beigegebenen Elektricität. Ich werde im Folgenden aus den Poisson'schen Abhandlungen die Formeln und Resultate mittheilen, die theils frühere Versuche Coulombs darstellen, theils leicht experimentell zu prüfen sind. Hierzu ist noch die experimentelle Bedeutung der mit dem Namen: Dicke der elektrischen Schicht, bezeichneten Gröſse zu geben. Man denke sich auf einem ebenen elektrisirten Leiter ein so kleines Stück der Oberfläche, daſs die Dicke der elektrischen Schicht auf ihm constant genommen werden kann, so wird diese Dicke, multiplicirt in die Flächengröſse, die Masse der Schicht oder die Elektricitätsmenge angeben, die auf dem betrachteten Flächenstücke vorhanden ist. Dies ist nicht streng der Fall, wenn die Oberfläche des Leiters convex gekrümmt ist; die vorhandene Elektricitätsmenge wird dann gröſser sein als das Product der Dicke der Schicht in die Oberfläche, aber um so weniger gröſser, je kleiner die Dicke der Schicht ist gegen den Krümmungsradius der Oberfläche an der betrachteten Stelle. Nun läſst sich zeigen, daſs auch bei einem dicken Leiter die Dicke der elektrischen Schicht äuſserst gering ist. Es werde eine massive Metallkugel und eine gleich groſse Glaskugel genommen, die mit der dünnsten leitenden Schicht z. B. Goldblatt bekleidet ist; elektrisirt man beide Kugeln gemeinschaftlich, so ist Dichtigkeit und Anordnung der Elektricität auf ihnen identisch. Es kann also in jedem Falle die constante Dicke der Schicht auf einem Flächenstücke proportional der daselbst vorhandenen Elektricitätsmenge genommen werden. Hiernach ist die *Dicke der Schicht* an einer Stelle eines Leiters

Digitized by Google

[204] proportional der *elektrischen Dichtigkeit* der Stelle, die, wie früher gezeigt worden, durch die Prüfungsscheibe gemessen wird. Wo die Elektricität sich über einen Leiter gleichförmig verbreitet, ist die Dicke der Schicht auf dem Leiter constant, und wird durch das Verhältnifs der ganzen Elektricitätsmenge zur Oberfläche des Leiters gegeben. Auch bei ungleichförmiger Anordnung pflegt man, wie eine mittlere Dichtigkeit (§. 127.), eine *mittlere Dicke* der Schicht anzugeben, die durch Messung der ganzen vorhandenen Elektricitätsmenge erhalten wird.

Anordnung der Elektricität auf einfachen und zusammengesetzten Leitern.

205 **Anordnung auf dem Sphäroide.** Auf einer Kugel hat die elektrische Schicht überall dieselbe Dicke, auf einem Ellipsoide ist sie durch die Oberflächen zweier ähnlichen concentrischen Ellipsoide begränzt. Im letzten Falle ist die Dicke daher am gröfsten an den Scheitelpunkten der gröfsten, und am kleinsten an den Scheitelpunkten der kleinsten Axe. Auf einem Revolutions-Ellipsoide verhält sich die Dicke der Schicht an den Polen zu der am Aequator, wie die Polaxe zu dem Diameter des Ellipsoids. Bei einem länglichen Ellipsoide kann daher die Dicke der Schicht sehr grofs sein gegen die am Aequator, an der Spitze eines Kegels würde die Dicke stets unendlich grofs werden, wenn die Elektricität sich nicht daselbst durch Ausströmen entfernte, und so den Kegel unelektrisch zurückliefse.

206 **Mittlere Dichtigkeit auf einander berührenden Kugeln.** Zwei Kugeln werden in Berührung elektrisirt, und dann so weit von einander entfernt, dafs die Elektricität sich gleichförmig über jene verbreitet. Es seien die Dicken der Schicht alsdann A und B auf Kugeln, deren Radien respectiv 1 und b sind. Wir wollen die Kugeln ferner durch ihre Radien bezeichnen. Für die Dichtigkeit der Kugel (1) hat Poisson den Ausdruck gefunden

$$A = \frac{bh}{1+b}\int t^{-\frac{1}{1+b}}\frac{-1}{1-t}\,dt$$

Digitized by Google

Für die Dichtigkeit der Kugel (b) [206]

$$B = \frac{h}{b(1+b)} \int \frac{t^{\frac{b}{1+b}} - 1}{1-t}\, dt$$

Die Integrationen von $t = 0$ bis $t = 1$ ausgeführt.

Die Gröfse h ist eine Constante, von der beiden Kugeln mitgetheilten Elektricitätsmenge abhängig. Das Verhältnifs $\frac{B}{A} = \beta$ vereinfacht sich folgendermafsen:

$$\beta = \frac{1}{b^2} + \frac{\pi \,.\, \text{cotang.} \frac{\pi}{1+b}}{b^2 \int \frac{t^{\frac{b}{1+b}} - 1}{1-t}\, dt}$$

wo π das Verhältnifs des Durchmessers zur Peripherie bezeichnet. Diese Formel giebt die Versuche Coulombs, die §. 136 — 142 beschrieben worden sind, in genügender Uebereinstimmung wieder.

Verhältnifs der Radien der Kugeln $= b$	Verhältnifs der mittleren el. Dichtigkeit $= \frac{B}{A}$	
	berechnet.	beobachtet.
$\frac{1}{2}$	1,1601	1,08
$\frac{1}{3}$	1,254	
$\frac{1}{4}$	1,3168	1,30
$\frac{1}{6}$	1,4443	1,65

Eine ausgedehnte Reihe berechneter Werthe giebt die zu §. 230 gehörige Tafel am Schlusse des Bandes.

Man sieht, dafs mit abnehmendem b, also mit zunehmen- 207
dem Unterschiede der Radien der Kugeln, das Verhältnifs β wächst, und letzteres stets gröfser als 1 ist. Obgleich daher bei zwei einander berührenden Kugeln die kleinere Kugel eine geringere Elektricitätsmenge erhält, als die grofse, so ist die mittlere Dichtigkeit auf der ersteren stets die gröfsere. Das Verhältnifs β hat einerseits die Gränze 1, bei Gleichheit der Kugeln; die zweite Gränze erhält man, wenn man $b = 0$ setzt, wenn die eine Kugel also gegen die andere verschwindend klein ist. In diesem Falle wird die zuletzt gegebene Formel

$$\beta = \int \frac{\log. \frac{1}{t}}{1-t}\, dt$$

Digitized by Google

[207] und erhält, von $t=0$ bis $t=1$ genommen, den Werth $\frac{\pi^2}{6}$ $= 1{,}6449$. Coulomb hatte für dies Gränzverhältnifs den Werth 2 angegeben. Wenn b klein ist, die Kugeln also an Gröfse sehr verschieden sind, so kann β ohne Integration nach folgender Näherungsformel berechnet werden

$$\beta = \frac{1}{(1+b)^2}\left(\frac{\pi^2}{6} + 1{,}20206\,\frac{b}{1+b} + \frac{\pi^4}{36}\,\frac{b^2}{(1+b)^2}\right)$$

Diese Formel giebt für $b=\frac{1}{4}$ $\frac{1}{8}$ $\frac{1}{15}$

$\beta = 1{,}276$ $1{,}431$ $1{,}532$

welche Werthe nicht bedeutend von den strengen Werthen abweichen, und für praktische Zwecke vollkommen genügen.

208 Dichtigkeit an dem Berührungspunkte diametralen Punkten zweier Kugeln. Welches auch das Gröfsenverhältnifs der beiden in Berührung stehenden Kugeln sein mag, so ist bei jeder Elektrisirung derselben die elektrische Dichtigkeit an dem Berührungspunkte selbst Null, die Kugeln sind daselbst gänzlich unelektrisch. Für die Dichtigkeit an den diametral gegenüberliegenden Punkten beider Kugeln (wo die Centrallinie die Kugelflächen schneidet) hat Poisson Formeln gegeben. Es bezeichne Y die Dichtigkeit an dem bezeichneten Punkte der gröfseren Kugel (1), Z diese Dichtigkeit auf der Kugel (b), wo also b nicht gröfser als 1 ist, ferner A die mittlere Dichtigkeit der Kugel (1), so ist

$$\frac{Z}{A} = \gamma = \frac{\int \frac{(t^{-\frac{b}{1+b}}-1).t^{-\frac{1}{2(1+b)}}}{1-t} \log.\frac{1}{t}\,dt}{4b^2(1+b)\int \frac{t^{-\frac{1}{1+b}}-1}{1-t}\,dt}$$

Die Integrationen sind von 0 bis 1 auszuführen. Die §. 148 aufgeführten Versuche Coulombs werden durch diese Formel in folgender Weise wiedergegeben:

Radius der kleineren Kugel (der d. gröfseren = 1)	Verhältnifs γ nach Formel.	nach Beobacht.
1	1,322	1,27
$\frac{1}{2}$	1,834	1,55
$\frac{1}{4}$	2,477	2,35
$\frac{1}{8}$	3,087	3,18

Digitized by Google

Das Verhältnifs γ nimmt zu mit Abnahme des Radius [208]
der kleineren Kugel, und erhält mit $b = 0$ seinen gröfsten Werth. Alsdann ist

$$\gamma = \tfrac{1}{4} \int \frac{t^{-\frac{1}{2}}}{1-t} \log.^2 \frac{1}{t}\, dt = 4{,}207$$

Coulomb hatte diesen Gränzwerth etwas gröfser als 4 angegeben.

Das Verhältnifs der elektrischen Dichtigkeit an dem dem 209
Berührungspunkte diametralen Punkte auf der gröfseren Kugel zu der mittleren Dichtigkeit der Kugel ist ersichtlich am gröfsten, wenn $b = 1$, die beiden Kugeln also gleich grofs sind; es ist alsdann nach der Tafel des vorigen Paragraphs $= 1{,}322$ und nimmt ab mit Abnahme der kleineren Kugel, so dafs es beim Verschwinden dieser Kugel $= 1$ wird. Dies Verhältnifs wird allgemein durch den Ausdruck gegeben

$$\frac{Y}{A} = \frac{1 + \frac{b^2}{4(1+b)^2} \cdot \int \frac{t^{\frac{b}{2(1+b)}} - t^{\frac{b}{2(1+b)}}}{1-t} \log. \frac{1}{t}\, dt}{1 + \frac{b}{1+b} \int \frac{t^{\frac{b}{1+b}} - 1}{1-t}\, dt}$$

Wenn b sehr klein ist, kann man den folgenden genäherten Werth benutzen

$$\frac{Y}{A} = 1 + \left(\frac{b}{1+b}\right)^2 \frac{\pi^2}{6} - 1{,}80309 \left(\frac{b}{1+b}\right)^3$$

Die numerischen Werthe können aus der zu §. 231 gehörigen Tafel, am Schlusse des Bandes, unmittelbar entnommen werden.

Dichtigkeit an verschiedenen Punkten zweier 210
einander berührenden Kugeln. Die Lage eines Punktes auf der Kugelfläche wird durch den Centralwinkel bestimmt, den Winkel, welchen der von dem Punkte gezogene Radius mit der Centrallinie der beiden Kugeln bildet. Der Centralwinkel 0 bezeichnet den Berührungspunkt der Kugeln (§. 143.). Es sei der Cosinus des Centralwinkels $= \mu$, so wird die elektrische Dichtigkeit y des ihm entsprechenden Punktes auf der Kugel (1), die von der Kugel (b) berührt wird (wo, wie

Digitized by Google

[210] oben, 1 und b die Halbmesser der Kugeln angeben) durch den allgemeinen Ausdruck bestimmt

$$y = 2x\frac{d \cdot q(\mu, x)}{dx} + \varphi(\mu, x)$$

wo x nach der Differentiation $= 1$ zu setzen ist. Die Function $\varphi(\mu, x) = bh(R_0 - R'_0 + R_1 - R'_1$ etc.) wo h eine Constante bezeichnet, die von der Elektricitätsmenge abhängt, welche die Kugeln erhalten haben. Die allgemeinen Glieder der Reihe sind

$$R_n = \Big[\Big(b + n(1+b)\Big)^2 - 2\mu n(1+b)\Big(b + n(1+b)\Big)x + n^2(1+b)^2x^2\Big]^{-\frac{1}{2}}$$

$$R'_n = \Big[(1+b)^2(1+x)^2 - 2\mu(1+b)(1+n)\Big(1 + n(1+b)\Big)x + \Big(1 + n(1+b)\Big)^2x^2\Big]^{-\frac{1}{2}}$$

Dieselben Formeln gelten für die elektrische Dichtigkeit eines Punktes der Kugel (b) wenn man in ihnen b mit $\frac{1}{b}$ vertauscht und das Resultat durch b dividirt. Die Formeln werden auf die von Coulomb untersuchten Fälle folgendermafsen angewendet.

211 Es seien die beiden Kugeln von gleicher Gröfse (§. 144.), so ist $b = 1$ und die elektrische Dichtigkeit wird

$$y = h(A_0 - A_1 + A_2 - A_3 + \ldots)$$

mit dem allgemeinen Gliede

$$A_n = \frac{1 + 2n}{\big[(1+n)^2 - 2n(1+n)\mu + n^2\big]^{\frac{3}{2}}}$$

Hieraus berechnet man die elektrischen Dichtigkeiten an den Punkten jeder Kugel, deren Centralwinkel gegeben sind:

Centralwinkel	y
180°	$= 0{,}916 \cdot h$
90	0,803
60	0,599
30	0,137

h hängt von der Elektricitätsmenge beider Kugeln ab und fällt bei der Vergleichung der elektrischen Dichtigkeiten untereinander fort.

Digitized by Google

Folgendes zeigt die Uebereinstimmung der Rechnung mit [211] den von Coulomb angestellten Versuchen.

im Verhältnifs zu der bei	El. Dichtigkeit für den Centralwinkel 90° nach Rechnung.	nach Beobachtung.
180°	0,877	0,96
60	1,342	1,25
30	5,857	4,80

Verhalten sich die Kugelradien wie 1 zu 2 (§. 145), so hat man, um die Anordnung auf der kleineren Kugel zu erhalten, in den Formeln $b = 2$ zu setzen. Dann ist

$$y = 2h\,(B_0 - B_1 + B_3 - B_4 + \ldots + B_{3n} - B_{3n+1})$$

mit dem allgemeinen Gliede

$$B_n = \frac{4(1+n)}{[(2+n)^2 - 2\mu n(2+n) + n^2]^{\frac{1}{2}}}$$

Man findet

Centralwinkel.	Dichtigkeit.
180°	0,781 . h
90	0,577
60	0,321

und hiernach folgende Uebereinstimmung mit Coulombs Versuchen:

zu der bei	Dichtigkeit bei 90° im Verhältnifs nach Rechnung.	nach Beobachtung.
180°	0,739	0,73
60	1,797	1,71

Auf der gröfseren Kugel werden die elektrischen Dichtigkeiten gefunden, wenn man in den allgemeinen Formeln $b = \frac{1}{2}$ setzt und das Resultat durch 2 dividirt. Bezeichnet z die Dichtigkeit auf einem Punkte der gröfseren Kugel, der durch den Cosinus des Centralwinkels $= \mu$ bestimmt wird, so ist

$$z = \frac{h}{2}\,(A_0 - A_2 + A_3 - A_5 + \ldots + A_{3n} - A_{3n+2})$$

mit dem bereits angegebenen allgemeinen Gliede A_n.

Für den Punkt dessen Centralwinkel 90° ist, hat man $z = 0{,}464\,h$. Es verhält sich daher die elektrische Dichtigkeit des gröfsten Kreises, der normal auf der Centrallinie steht, auf der kleinen Kugel zu der Dichtigkeit des gröfsten Kreises auf der grofsen wie 1,238 zu 1. Coulomb hatte dies Verhältnifs 1,25 gefunden (§. 146.).

Digitized by Google

[211] Endlich sei das Verhältnifs der Radien 1 zu 4 (§. 147.), so ist $b = 4$ und die Dichtigkeit auf der kleinen Kugel an den Punkten, die durch den Cosinus $= \mu$ bestimmt sind

$$y = 4h\,(C_0 - C_1 + C_2 - C_3 + \ldots + C_{2n} - C_{2n+1})$$

wo

$$C_n = \frac{8(2+n)}{[(4+n)^2 - 2n(4+n)\mu + n^2]^{\frac{1}{2}}}$$

Hiernach berechnet man

für den Centralwinkel.	die Dichtigkeit.
180°	0,584 h
90	0,349

Das Verhältnifs der Dichtigkeit auf dem dem Berührungspunkte diametralen Punkte zu der des gröfsten Kreises ist daher 1,673, welches Coulomb im Versuche $\frac{19}{7} = 1{,}43$ gefunden hatte.

Anordnung der Elektricität auf zwei von einander entfernten Kugeln, die unter gegenseitigem Einflusse stehen.

212 Die Aufgabe über die Anordnung der Elektricität auf Kugeln, die in einer beliebigen Entfernung von einander gehalten werden, kann nur durch Reihen oder durch bestimmte Integrale allgemein gelöst werden, die zu keinem einfachen Ausdrucke führen, der eine physikalische Bedeutsamkeit erhielte. Es ist dies nur der Fall unter der speciellen Annahme, dafs die Entfernung der Kugeln gegen einen der Halbmesser sehr grofs ist, wofür ich den mathematischen Ausdruck angeben werde. Aufserdem theile ich nur die numerischen Resultate der Rechnung mit, die Poisson für bestimmte Halbmesser und Entfernungen angestellt hat, und welche interessante Folgerungen zulassen.

In dem Vorhergehenden war es durch die Natur der Aufgabe bestimmt, dafs die betrachteten elektrischen Dichtigkeiten einer und derselben Elektricitätsart zugehörten, und es wurde ihnen daher stets das positive Vorzeichen gegeben. Auf getrennten Kugeln können indefs beide Elektricitätsarten vorhan-

Digitized by Google

den sein, es ist dies sogar auf einer und derselben Kugel oft [212] der Fall. Dies wird durch entgegengesetzte Vorzeichen der elektrischen Dichtigkeiten ausgedrückt, und eine negative Dichtigkeit hat also die Bedeutung, dafs sie in Bezug auf eine angenommene positive Dichtigkeit durch die entgegengesetzte Elektricitätsart gebildet wird.

Anordnung der Elektricität auf zwei Kugeln, die (in Bezug zu einem Halbmesser) in sehr grofser Entfernung von einander stehen.

Es sei der Halbmesser der kleineren Kugel b, der der 213 gröfseren a, die Entfernung ihrer Centra c, und es gelte die Bedingung, dafs $\frac{b}{c-a}$ eine sehr kleine Gröfse ist. Ist nun A die mittlere elektrische Dichtigkeit der Kugel (a), B die der Kugel (b), und nennt man y die elektrische Dichtigkeit des Punktes auf der Kugel (a), der durch den Winkel, dessen cos. $= \mu$ ist, bestimmt wird, so ist

$$y = A + b^2 B \left(\frac{1}{ac} - \frac{c^2 - a^2}{(c^2 - 2ca\mu + a^2)^{\frac{3}{2}}} \right)$$

Ferner die Dichtigkeit z auf der Kugel (b) an einem Punkte, der durch den cos. $= \mu_1$ bestimmt ist

$$z = B - \frac{3a^2 A}{c^2} \left(\mu_1 + \frac{3\mu_1^2 - 1}{2} \cdot \frac{5b}{3c} \right)$$

Diese Formeln sind mit den Versuchen in genügender Uebereinstimmung, wenn $\frac{b}{c-a}$ nicht gröfser als 0,1 ist.

Ueber die Elektrisirung der Kugeln lassen sich verschiedene Annahmen machen.

Die kleinere Kugel durch Influenz der gröfseren elektrisirt. 214 Da die kleinere Kugel ursprünglich keine Elektricität erhalten hat, so ist hier $B = 0$ zu setzen. Man hat alsdann für die Dichtigkeit auf verschiedenen Punkten dieser Kugel

$$z = -\frac{3a^2 A}{c^2} \left(\mu_1 + \frac{3\mu_1^2 - 1}{2} \cdot \frac{5b}{3c} \right)$$

Digitized by Google

[214] An dem der gröfseren Kugel nächsten Punkte hat man den Centralwinkel 0 daher $\mu_1 = 1$ und hiermit

$$z = -\frac{3a^3A}{c^2}\left(1 + \frac{5b}{3c}\right)$$

welche Dichtigkeit, wie man sieht, von entgegengesetzter Elektricität herrührt, als die der gröfseren Kugel. Für den diametral gegenüberliegenden Punkt ist der Centralwinkel 180°, daher $\mu_1 = -1$ und

$$z = \frac{3a^3A}{c^2}\left(1 - \frac{5b}{3c}\right)$$

an diesem Punkte also die Elektricität mit der der grofsen Kugel gleichartig. Die Dichtigkeiten selbst sind an diesen Punkten im Verhältnifs $1 + \frac{5b}{3c}$ zu $1 - \frac{5b}{3c}$, also merklich gleich, da b nach der Annahme sehr klein gegen c sein mufs. Die Formeln stellen das Grundprincip der Elektricitätslehre dar, das Hervorrufen beider Elektricitätsarten auf einem neutralen Körper durch die Influenz. Um die Punkte zu haben, an welchen auf der kleinen Kugel keine Elektricität frei ist, welche Punkte die sogenannte Indifferenzzone bilden, hat man $z = 0$ zu setzen. Die Gleichung für diese Zone ist dann

$$\mu_1 + \frac{3\mu_1^2 - 1}{2} \cdot \frac{5b}{3c} = 0$$

Oder, wenn man mit Vernachlässigung von b^3, μ entwickelt

$$\mu_1 = \frac{5b}{6c}$$

Da hiernach der cosin. des Centralwinkels immer positiv bleibt, so mufs die Indifferenzzone der kleinen Kugel stets auf ihrer der grofsen Kugel zugewandten Hälfte liegen, sie nähert sich desto mehr einem gröfsten Kreise, je gröfser die Entfernung c der Kugeln wird.

215 **Beide Kugeln ursprünglich elektrisirt.** Sind beide Kugeln auf beliebige Weise elektrisirt, so zeigen die Formeln, dafs die elektrischen Dichtigkeiten, die auf jeder Kugel durch Influenz der anderen gebildet werden, um die mittlere elektrische Dichtigkeit der Kugel vermehrt werden.

Digitized by Google

Sind beide Kugeln mit derselben Elektricitätsart versehen, [215]
so ist der Fall zu unterscheiden wo

$$\frac{3Aa^2}{c^2}\left(1+\frac{5b}{3c}\right) \text{ gröfser als } B \text{ ist.}$$

Alsdann erhält, wie früher, auf der kleinen Kugel der der grofsen Kugel nächste Punkt Elektricität anderer Art, als die grofse Kugel, und der diametrale Punkt gleichartige Elektricität.

Aus der Gleichung

$$B=\frac{3Aa^2}{c^2}\left(\mu_1+\frac{3\mu_1^2-1}{2}\cdot\frac{5b}{3c}\right)$$

läfst sich der Centralwinkel des Indifferenzkreises finden.

Ist hingegen

$$\frac{3Aa^2}{c^2}\left(1+\frac{5b}{3c}\right) \text{ kleiner als } B,$$

so ist die Elektricität auf der ganzen Ausdehnung der kleinen Kugel derselben Art, und zwar der Art, mit welcher diese ursprünglich geladen ist.

Sind die beiden Kugeln mit entgegengesetzten Elektricitätsarten versehen worden, so ist auf dem der grofsen Kugel nächsten Punkte der kleinen Kugel dieselbe Elektricitätsart frei, mit der sie versehen worden; auf dem diametral gegenüberliegenden Punkte aber ist die Elektricität jener gleichartig oder entgegengesetzt, je nachdem B, ohne Rücksicht auf das Zeichen, gröfser oder kleiner ist als $\frac{3Aa^2}{c^2}\left(1-\frac{5b}{3c}\right)$.

Beide Kugeln ursprünglich in Berührung elek- 216
trisirt. Wenn der Halbmesser der kleinen Kugel b sehr klein in Bezug zu dem der grofsen Kugel a ist, so wird nach §. 207 die mittlere Dichtigkeit B durch die Berührung beider Kugeln nahe $\frac{\pi^2}{6}A$ sein müssen. Mit diesem Werthe von B erhält man die elektrische Dichtigkeit an dem der grofsen Kugel nächsten Punkte der kleinen Kugel, also für $\mu_1=1$

$$z=A\left(\frac{\pi^2}{6}-\frac{3a^2}{c^2}\right)$$

Für Werthe von c, die nur wenig gröfser als a sind, wird dieser Ausdruck negativ, für $c=1{,}3505\,a$ ist er 0

Digitized by Google

[216] und für gröfsere Werthe wird er positiv. Wenn daher eine Kugel mit einer sehr kleinen in Berührung gesetzt, und mit einer Elektricitätsart versehen wird, so ist der Berührungspunkt auf der kleinen Kugel zuerst unelektrisch, bei allmäliger Entfernung zeigt derselbe Elektricität von entgegengesetzter Art, bei einer bestimmten Entfernung wird er wiederum unelektrisch, und bei fortgesetzter Entfernung erhält er Elektricität, die der ursprünglichen gleichartig ist. Dies eigenthümliche Erscheinen eines Indifferenzpunktes bei zwiefacher Stellung findet auch auf Kugeln statt, deren Halbmesser ein merkbares Verhältnifs haben, wie sich in der Folge zeigen wird.

Anordnung der Elektricität auf zwei Kugeln, deren Halbmesser und Centralentfernung in dem Verhältnisse 1 : 3 : 5 stehen.

217 Es bezeichne A die mittlere elektrische Dichtigkeit auf der Kugel (1), B dieselbe auf der Kugel (3), y_n die Dichtigkeit auf der Kugel (1) an dem Punkte, der durch den Centralwinkel $(n-1)\ 22\frac{1}{2}$ Grad bestimmt wird; z_n bezeichne die elektrische Dichtigkeit an einem in gleicher Weise bestimmten Punkte der Kugel (3).

Poisson hat die Dichtigkeiten y und z für 9 Punkte berechnet, die hiernächst folgen. Zur bequemeren Uebersicht sind bei der ersten Tafel die Centralwinkel, durch welche die bezüglichen Punkte bestimmt sind, mit angegeben.

Tafel y

Dichtigkeiten auf der Kugel mit Radius 1.

für den Centralwinkel.	
0^0	$y_1 = 1{,}2348\,A - 1{,}6369\,B$
$22\frac{1}{2}$	$y_2 = 1{,}1786\,A - 1{,}3887\,B$
45	$y_3 = 1{,}0779\,A - 0{,}8402\,B$
$67\frac{1}{2}$	$y_4 = 1{,}0074\,A - 0{,}2709\,B$
90	$y_5 = 0{,}9703\,A + 0{,}2782\,B$
$112\frac{1}{2}$	$y_6 = 0{,}9524\,A + 0{,}4847\,B$
135	$y_7 = 0{,}9441\,A + 0{,}6765\,B$
$157\frac{1}{2}$	$y_8 = 0{,}9405\,A + 0{,}7822\,B$
180	$y_9 = 0{,}9393\,A + 0{,}8131\,B$

Digitized by Google

Tafel z [217]

Dichtigkeiten auf der Kugel mit Radius 3.

$$z_1 = 1{,}2461\,B - 0{,}6277\,A$$
$$z_2 = 1{,}0524\,B - 0{,}2769\,A$$
$$z_3 = 0{,}9961\,B - 0{,}0495\,A$$
$$z_4 = 0{,}9924\,B + 0{,}0176\,A$$
$$z_5 = 0{,}9928\,B + 0{,}0405\,A$$
$$z_6 = 0{,}9933\,B + 0{,}0499\,A$$
$$z_7 = 0{,}9937\,B + 0{,}0543\,A$$
$$z_8 = 0{,}9938\,B + 0{,}0563\,A$$
$$z_9 = 0{,}9938\,B + 0{,}0569\,A$$

Da A und B, die constanten Dichtigkeiten auf den beiden Kugeln, ehe sie dem gegenseitigen Einflusse ausgesetzt worden, willkürlich gewählt werden können, so sind über sie besondere Annahmen zu machen.

Ist die Kugel (1) ursprünglich elektrisirt worden, die 218
Kugel (3) aber nicht, so ist $B = 0$, und die Tafel z zeigt, dafs auf der grofsen Kugel eine der Elektricität der kleineren entgegengesetzte Elektricität frei ist an dem zugewandten nächsten Punkte, die gleichartige aber an dem entferntesten. Das Maximum der Intensität der beiden Elektricitätsarten ist an diesen beiden Punkten, nämlich $-0{,}6277\,A$ an dem nächsten und $+0{,}0569\,A$ an dem entferntesten Punkte. Der Indifferenzkreis liegt zwischen z_3 und z_4, also zwischen den Graden $2 \cdot 22\frac{1}{2} = 45$ und $3 \cdot 22\frac{1}{2} = 67\frac{1}{2}$. Auf der kleinen elektrisirten Kugel ändert sich, wie aus der Tafel y ersichtlich ist, durch Einwirkung der grofsen Kugel das Zeichen der Elektricität nicht, die Intensität ist an dem nächsten Punkte am gröfsten, nämlich $1{,}2348\,A$ und nimmt bis zu dem entferntesten ab, wo sie $0{,}9393\,A$ beträgt.

Ist nur die Kugel (3) elektrisirt worden, so ist $A = 0$, die kleine Kugel wird durch Influenz elektrisirt und zeigt Aehnliches, wie die grofse Kugel in dem früheren Falle, nur dafs hier der Indifferenzkreis weiter zurück liegt. Man sieht nämlich aus Tafel y, dafs der Indifferenzkreis zwischen y_4 und y_5 zu liegen kommt, also zwischen $67\frac{1}{2}$ und 90^0. Auf der grofsen Kugel findet das Merkwürdige statt, dafs zwar nur Eine Elektricitätsart auf ihr frei ist, die Dichtigkeit aber von z_1 bis z_4

Digitized by Google

[218] abnimmt, und von z_5 bis z_9 wieder zunimmt, so dafs die elektrische Dichtigkeit ein Minimum zwischen den Graden 67,5 und 90 zeigt.

219 Diese merkwürdige Anordnung der Elektricität kann auf der einen oder der anderen Kugel hervorgebracht werden, durch Elektrisirung der Kugeln und zweckmäfsige Wahl von $\frac{A}{B}$, dem Verhältnisse der mittleren Dichtigkeiten der Kugeln. Setzt man nämlich die elektrischen Dichtigkeiten an zwei Punkten derselben Kugel gleich, so wird ein Maximum oder Minimum der Dichtigkeit zwischen diesen Punkten liegen müssen. Wird z. B. auf der kleinen Kugel $y_1 = y_9$ gesetzt, so erhält man

$$1{,}2348\,A - 1{,}6369\,B = 0{,}9393\,A + 0{,}8131\,B$$

wonach

$$B = 0{,}1206\,A.$$

Mit diesem Werthe der elektrischen Dichtigkeit erhält man die Anordnung der Elektricität auf den Kugeln folgendermafsen:

Elektrische Dichtigkeit	
auf der Kugel (1)	auf der Kugel (3)
$y_1 = 1{,}0374\,A$	$z_1 = -\,3{,}9586\,B$
$y_2 = 1{,}0111\,A$	$z_2 = -\,1{,}2436\,B$
$y_3 = 0{,}9766\,A$	$z_3 = +\,0{,}5857\,B$
$y_4 = 0{,}9747\,A$	$z_4 = +\,1{,}1383\,B$
$y_5 = 1{,}0039\,A$	$z_5 = +\,1{,}3286\,B$
$y_6 = 1{,}0109\,A$	$z_6 = +\,1{,}4071\,B$
$y_7 = 1{,}0257\,A$	$z_7 = +\,1{,}4439\,B$
$y_8 = 1{,}0348\,A$	$z_8 = +\,1{,}4606\,B$
$y_9 = 1{,}0374\,A$	$z_9 = +\,1{,}4656\,B$

Hier liegt auf der kleinen Kugel zwar ein Minimum der elektrischen Dichtigkeit zwischen den Graden 45 und $67\frac{1}{2}$, aber die Dichtigkeit ändert sich so wenig auf der ganzen Ausdehnung der Kugel, dafs sie an keiner Stelle um $\frac{1}{30}$ von der mittleren Dichtigkeit A abweicht. Auf der grofsen Kugel sind die Aenderungen der Dichtigkeit sehr bedeutend, sie gehen von $-\,3{,}9586\,B$ bis $+\,1{,}4656\,B$, also von verschiedenen Elektricitätsarten herrührend. Der Indifferenzkreis liegt zwischen den Graden $22\frac{1}{2}$ und 45.

Digitized by Google

Noch auffallender kann die Constanz der Dichtigkeit auf 220
der grofsen Kugel erzeugt werden. Setzt man nämlich

$$z_1 = z_9 \quad \text{oder}$$
$$1{,}2461\,B - 0{,}6277\,A = 0{,}9938\,B + 0{,}0569\,A$$

so erhält man das Verhältnifs der mittleren Dichtigkeiten

$$A = 0{,}3685\,B$$

Mit diesem Werthe ergiebt sich die Anordnung der Elektricität auf den Kugeln:

Elektrische Dichtigkeit	
auf der Kugel (3)	auf der Kugel (1)
$z_1 = 1{,}0148\,B$	$y_1 = -\,3{,}2072\,A$
$z_2 = 0{,}9506\,B$	$y_2 = -\,2{,}5899\,A$
$z_3 = 0{,}9828\,B$	$y_3 = -\,1{,}2021\,A$
$z_4 = 0{,}9969\,B$	$y_4 = +\,0{,}2723\,A$
$z_5 = 1{,}0075\,B$	$y_5 = +\,1{,}7253\,A$
$z_6 = 1{,}0117\,B$	$y_6 = +\,2{,}2684\,A$
$z_7 = 1{,}0137\,B$	$y_7 = +\,2{,}7801\,A$
$z_8 = 1{,}0145\,B$	$y_8 = +\,3{,}0625\,A$
$z_9 = 1{,}0148\,B$	$y_9 = +\,3{,}1453\,A$

Hier liegt das Minimum der elektrischen Dichtigkeit auf der grofsen Kugel zwischen den Graden $22\frac{1}{2}$ und 45, die Aenderungen der Dichtigkeit auf der ganzen Oberfläche sind aber so gering, dafs sie nirgends um mehr als $\frac{1}{60}$ von der mittleren Dichtigkeit B abweicht. Auf der kleinen Kugel finden zugleich die stärksten Aenderungen der Dichtigkeit statt, da diese mit negativer und positiver Elektricität das Dreifache der mittleren Dichtigkeit überschreitet. Ein Indifferenzkreis liegt zwischen den Graden 45 und $67\frac{1}{2}$.

Aus dem Vorhergehenden folgt, dafs man zwei Kugeln, 221
deren Radien sich wie 1 zu 3 verhalten, und deren Centra um das Fünffache des kleineren Radius von einander entfernt sind, so elektrisiren kann, dafs die eine oder die andere Kugel eine elektrische Anordnung zeigt, die wenig von der verschieden ist, die sie alleinstehend zeigen würde. Es kommt dabei nicht auf die absolute Menge der den Kugeln mitgetheilten Elektricität an, sondern auf das Verhältnifs, das die Elektricitätsmengen der Kugeln zu einander haben. Bei Anstellung eines solchen Versuches würde es aber schwer sein, den Kugeln di-

Digitized by Google

[221] rect die bestimmte Elektricitätsmenge mitzutheilen, und man wird hier, wie auch sonst, zu dem Mittel greifen, beide Kugeln willkürlich zu elektrisiren, und durch Verminderung der Elektricität der einen Kugel das gebotene Verhältnifs herzustellen. Zu diesem Zwecke ist in dem vorliegenden Falle folgendes Verfahren von Pouillet und Deflers angegeben worden[1]).

Man elektrisire die beiden Kugeln in Berührung mit einander; wie das Verhältnifs ihrer Elektricitätsmengen nach der Trennung oder ihrer mittleren Dichtigkeiten sei, kann durch Rechnung oder durch directe Versuche an der Torsionswage ausgemacht werden. Um das beabsichtigte Verhältnifs der mittleren Dichtigkeiten hervorzubringen, berühre man die Kugel, welche eine zu grofse Dichtigkeit hat, tangentiell mit einer Kreisscheibe, deren Dimensionen sich nach dem Folgenden leicht bestimmen lassen. Die zu berührende Kugel habe die mittlere elektrische Dichtigkeit D, die zu $\frac{D}{n}$ reducirt werden soll; hierzu wird ihre Elektricitätsmenge auf $\frac{1}{n}$ gebracht werden müssen. Berührt man nach Coulombs Versuchen eine Kugel tangentiell mit einer Scheibe, so theilt sich die Elektricität unter beide Körper im Verhältnifs ihrer Oberflächen. Hat daher die Kugel den Radius R, die Scheibe den Radius r, so wird eine Elektricitätsmenge sich unter beide Körper so theilen, dafs die Kugel davon den Theil

$$\frac{4\pi R^2}{2\pi r^2 + 4\pi R^2} = \frac{R^2}{\frac{1}{2}r^2 + R^2}$$

behält. Da diese Menge geforderter maſsen $= \frac{1}{n}$ sein soll, so ist

$$\frac{R^2}{\frac{1}{2}r^2 + R^2} = \frac{1}{n} \quad \text{oder} \quad r = R\sqrt{2(n-1)}$$

wonach der Halbmesser der Scheibe, mit welcher die Kugel berührt werden mufs, berechnet wird.

222 Poisson hat noch die Anordnung der Elektricität auf den beiden Kugeln berechnet in dem Falle, dafs die Kugeln vor ihrer Entfernung von einander in Berührung gewesen wären. Die mittlere Dichtigkeit auf der kleinen Kugel verhält sich

[1]) *Biot Traité de phys.* 2. 307.

Digitized by Google

alsdann zu der auf der grofsen wie 1,254 zu 1 (§. 206). Mit [222]
diesem Werthe ist die folgende Tafel berechnet:

Elektrische Dichtigkeit auf der Kugel (1)	auf der Kugel (3)
$y_1 = -0{,}0704\,A$	$z_1 = 0{,}4589\,B$
$y_2 = +0{,}0712\,A$	$z_2 = 0{,}7051\,B$
$y_3 = +0{,}4079\,A$	$z_3 = 0{,}9340\,B$
$y_4 = +0{,}7914\,A$	$z_4 = 1{,}0145\,B$
$y_5 = +1{,}1921\,A$	$z_5 = 1{,}0435\,B$
$y_6 = +1{,}3389\,A$	$z_6 = 1{,}0559\,B$
$y_7 = +1{,}4835\,A$	$z_7 = 1{,}0618\,B$
$y_8 = +1{,}5642\,A$	$z_8 = 1{,}0644\,B$
$y_9 = +1{,}5881\,A$	$z_9 = 1{,}0651\,B$

Während auf der grofsen Kugel die Elektricität von der mitgetheilten Art ist, und die Dichtigkeit von dem der kleinen Kugel nächsten Punkte bis zum entferntesten zunimmt, ist die Elektricität auf dem nächsten Punkte der kleinen Kugel von entgegengesetzter Art. Entfernt man die Kugeln weit von einander, so sind alle ihre Punkte gleichartig elektrisch, und es mufs daher eine Entfernung geben, in welcher der hier negative Punkt der kleinen Kugel unelektrisch ist, wie er es war, als er die grofse Kugel berührte.

Die merkwürdige Erscheinung, dafs bei zwei ungleichen 223
gemeinschaftlich elektrisirten Kugeln, die in der Centrallinie von einander entfernt werden, der frühere Berührungspunkt auf der kleineren Kugel zum zweitenmale unelektrisch wird, findet bei jedem Gröfsenverhältnisse der Kugeln statt, und die Entfernung, bei welcher dies geschieht, ist durch jenes Verhältnifs bestimmt. Poisson hat diese Entfernung für den Fall angegeben, wo das Verhältnifs der Kugelradien sehr grofs ist (§. 216.), und sich bei einem anderen Versuche begnügt, die Dichtigkeit des Berührungspunktes der kleinen Kugel in der experimentell ermittelten Entfernung zu berechnen. Coulomb hatte bei Kugeln, deren Radien 1 und $\frac{11}{3}$ betrugen, die Entfernung der Kugelflächen für den zweiten Nullpunkt $= 1$ gefunden (§. 187.). Die Dichtigkeit an dem früheren Berührungspunkte der kleinen Kugel findet sich bei dieser Entfernung

$$y = 1{,}2248\,A - 1{,}5567\,B$$

Digitized by Google

[223] oder, da das Verhältnifs der mittleren Dichtigkeiten der Kugeln $\frac{A}{B}$ nach den Radien zu 1,233 berechnet wird

$$y = -0{,}0372\,A$$

Der Punkt hatte also noch negative Elektricität, aber von so geringer Dichtigkeit, dafs sie der Beobachtung entgehen konnte. Die dritte Tafel, am Schlusse des Bandes, giebt nach Plana's Berechnung die Entfernungen bei verschiedenen Verhältnissen der Kugeln (§. 232.).

Anordnung der Elektricität auf Kugeln, die in kleiner Entfernung von einander stehen.

224 Wenn zwei Kugeln, mit den Elektricitätsmengen versehen, die sie bei der Berührung erhalten würden, einander beliebig genähert werden, so ändert sich zwar die Anordnung der Elektricität auf jeder Kugel mit der Entfernung, aber die mittlere Dichtigkeit bleibt auf jeder Kugel constant. Dies ist nicht der Fall, wenn jenes Verhältnifs der Elektricitätsmengen nicht besteht, indem alsdann bei gewissen Entfernungen sich die Elektricitätsmengen der Kugeln durch eine eigenthümliche Erscheinung plötzlich ändern. Man hat daher bei der Beobachtung einander genäherter Kugeln diese beiden Fälle zu unterscheiden. Es sei bei der einen Kugel der Radius a, mittlere Dichtigkeit A, die elektrische Dichtigkeit an einem bestimmten Punkte der Oberfläche y; für die andere Kugel mögen b B z dieselbe Bedeutung haben, c bezeichne die Entfernung der Centra der Kugeln. Für die Werthe von y und z an den Punkten der Kugeln, die einander zunächst liegen, und an den diesen Punkten diametral gegenüberliegenden, die wir wie früher mit y_1 z_1 und y_2 z_2 bezeichnen, hat Poisson folgende Bestimmungen gegeben.

225 Die Punkte y_1 und z_1, wenn das Verhältnifs $\frac{A}{B}$ von dem Verhältnisse $\frac{A'}{B'}$ verschieden ist, das bei der Berührung der Kugeln eintritt. Werden die Kugeln einander sehr nahe gebracht, so wachsen die elektrischen Dichtigkeiten an den

Digitized by Google

nächsten Punkten der Kugeln in's Unbestimmte, und erreichen [225]
jede beliebige Gröfse; wenn $c = a + b$ ist, die Oberflächen der Kugeln also einander berühren, so ist y_1 und z_1 unendlich grofs. Wie daher auch die Kugeln geladen sein mögen, so wird sich stets eine Entfernung derselben finden, in welcher die elektrische Dichtigkeit an den nächsten Punkten der Kugeln so grofs ist, dafs die zwischen ihnen befindliche Luftschicht durchbrochen wird, und eine Entladung unter der Lichterscheinung des *elektrischen Funkens* stattfindet. Im Augenblicke der Entladung ist $y_1 = -z_1$, die Dichtigkeiten an den nächsten Punkten der Kugeln sind gleich mit entgegengesetzter Elektricität. Hatten die Kugeln ursprünglich entgegengesetzte Elektricitäten, sind also A und B von verschiedenen Zeichen, so nimmt y_1 das Zeichen von A, z_1 das von B an. Sind hingegen A und B von demselben Zeichen z. B. positiv, so kommt es darauf an, welche Kugel bei der Berührung Elektricität abgeben würde; diese Kugel bleibt alsdann an dem der anderen nächsten Punkte positiv. Ist nämlich $\frac{A}{B}$ gröfser als $\frac{A_1}{B_1}$, so bleibt y_1 im Augenblicke der Entladung positiv, z_1 ist negativ; im andern Falle treten die entgegengesetzten Zeichen ein.

Die Punkte y_1 und z_1, wenn das Verhältnifs $\frac{A}{B} = \frac{A_1}{B_1}$ [226]
ist. Nähert man zwei Kugeln, die einander berührt haben, in späteren Versuchen einander, so nehmen die Dichtigkeiten y_1 und z_1 mit abnehmender Entfernung ab, und werden für $c = a + b$ gleich Null. Entfernt man die Kugeln von einander, so nehmen die Werthe y_1 und z_1 zu, aber mit entgegengesetzten Zeichen, und zwar ist es stets die kleinere Kugel, deren elektrische Dichtigkeit an dem früheren Berührungspunkte das der mitgetheilten Elektricität entgegengesetzte Zeichen hat. Die Zunahme der Werthe y_1 und z_1 bei Annäherung der Kugeln geschieht sehr langsam, so dafs sie noch bei sehr kleinen Entfernungen der Kugelflächen bedeutend sind. Um ein Beispiel zu geben, seien die Halbmesser der Kugeln 1 und 3, und die Entfernung ihrer Oberflächen 0,000001. Alsdann findet

Digitized by Google

[226] sich auf der Kugel (1) die Dichtigkeit $y_1 = -0{,}083A$, also beinah noch $\frac{1}{12}$ der mittleren Dichtigkeit auf dieser Kugel.

Ist eine Kugel als unendlich klein gegen die andere zu betrachten, so wird dennoch die Dichtigkeit der grofsen Kugel auf dem der kleinen nächsten Punkte durch die Nähe der kleinen Kugel sehr geändert. Unter dieser Voraussetzung findet man nämlich, wenn die Entfernung der Kugelflächen nur 0,000001 des kleineren Halbmessers beträgt, auf der grofsen Kugel $y_1 = 0{,}0265A$, also die elektrische Dichtigkeit nur $\frac{1}{40}$ von der, welche der betrachtete Punkt besäfse, wenn die kleine Kugel nicht vorhanden wäre.

Hat man zwei gleiche Kugeln vom Halbmesser a in Berührung gesetzt, elektrisirt und von einander bis zu einer sehr kleinen Entfernung gerückt, so ist auf jeder Kugel die elektrische Dichtigkeit des früheren Berührungspunktes

$$y_1 = \frac{2a^2}{15a^2 \log.2} A$$

wo a die Entfernung der Kugelflächen bedeutet. Diese Dichtigkeit ist ersichtlich sehr gering, aber auf beiden Kugeln von demselben Zeichen.

227 Die Punkte y_9 und z_9. Für die Dichtigkeiten an den entferntesten Punkten zweier einander sehr nahe gebrachten elektrisirten Kugeln, findet Poisson, dafs sie sich sehr langsam dem Verhältnisse nähern, das sie bei der Berührung beobachten würden. Um ein Beispiel dieser Langsamkeit zu geben, nehme man zwei gleiche Kugeln an, die gleiche Mengen entgegengesetzter Elektricität enthalten, deren elektrische Dichtigkeit an allen Punkten daher bei der Berührung offenbar Null sein würde. Doch aber zeigt die Rechnung, dafs bei der Entfernung der Oberflächen um 0,000001 des Halbmessers

$$y_9 = z_9 = 0{,}152A$$

also noch $\frac{1}{6}$ der mittleren Dichtigkeit betragen müfste. — Es ist hiernach zu schliefsen, dafs der Funke, wenn er bei einer merkbaren Entfernung eintritt, die Anordnung der Elektricität in der ganzen Ausdehnung der beiden Kugelflächen ändert, und also auch an den Punkten, die denen, wo er entsteht, diametral gegenüberliegen.

Haben die beiden genäherten Kugeln die Elektricitäts-

Digitized by Google

mengen, die ihnen bei der Berührung zukommen, so weichen [227]
die Dichtigkeiten y_0 und z_0 bei sehr kleinen Entfernungen der Kugelflächen wenig von den Werthen ab, die sie bei der Berührung erhalten, und die Zuwüchse, die sie bei abnehmenden Entfernungen erhalten, sind diesen Entfernungen proportional. Nach Plana's Bemerkung findet diese Proportionalität nicht statt, und die Aenderung der bezeichneten Dichtigkeiten ist vielmehr umgekehrt proportional der Gröfse

$$P + \log. \frac{b}{\alpha}$$

wo b den Halbmesser der kleineren Kugel, α die Entfernung der nächsten Punkte der Kugelflächen bedeutet [1]).

Ich habe schliefslich auf einen Punkt aufmerksam zu ma- 228
chen, über welchen Poisson sich nicht deutlich ausgesprochen hat. Der elektrische Funke tritt nämlich, wie gesagt, bei einer gewissen Entfernung zweier elektrisirten Kugeln ein, welche Elektricität nicht in dem Verhältnisse besitzen, das die Berührung der Kugeln fordert. Aber mit dem Funken wird dies Verhältnifs nicht hergestellt, wie man leicht glauben könnte. Zwischen zwei elektrisirten Kugeln, die in einer gewissen Entfernung Gelegenheit zu einem Funken geben, tritt bei geringerer Entfernung ein zweiter, später ein dritter Funke auf. Es ist kein Grund vorhanden, den Fortgang dieser Erscheinung bei irgend einer Entfernung abzuschneiden; streng genommen, werden zwei Kugeln, die nicht Elektricität in dem der Berührung zukommenden Verhältnisse besitzen, dies Verhältnifs erst bei der Berührung und nicht früher zeigen können.

Wirkung eines Haufens durch Mittheilung oder Influenz elektrisirter Körper.

In einer späteren Abhandlung über den Magnetismus hat 229
Poisson [2]) noch einige Fälle aus der Elektricitätslehre behandelt, und folgende Resultate gegeben.

[1]) *Plana mém. s. la distribution* etc.* 303. (Siehe S. 245.)

[2]) *Annales de Chimie et de phys.* 25. 128.

Digitized by Google

[229] Man denke sich eine grofse Menge kleiner leitenden Theilchen zusammengehäuft, so aber dafs jedes Theilchen von allen ihm nächstliegenden durch einen isolirenden Stoff getrennt ist, und daher kein Uebergang der Elektricität von einem Theilchen zum anderen stattfinden kann. Elektrisirt man diesen Haufen durch Influenz, so wirkt derselbe (anziehend und abstofsend) ganz ebenso nach Aufsen, als wenn der die Theilchen trennende isolirende Stoff fehlte. Offenbar wird in dem letzten Falle sich alle erregte Elektricität an die Oberfläche des Haufens begeben, während sie in dem ersten auf das Innere der einzelnen Theilchen beschränkt bleibt.

Eine hohle leitende Kugel, die von irgend welchen elektrisirten Körpern influencirt wird, äufsert folgende Wirkungen. Befinden sich die elektrisirten Körper aufserhalb der Kugel, so ist die Resultante ihrer Wirkungen und der der Kugel auf jeden Punkt innerhalb der äufseren Kugelfläche gleich Null. Sind hingegen die Körper innerhalb der Kugel beliebig vertheilt, so ist die Resultante aller Wirkungen auf einen aufserhalb gelegenen Punkt rund um die Kugel (in gleicher Entfernung vom Mittelpunkte) constant, und gleich der Summe aller erregten Elektricitäten, wenn diese in dem Mittelpunkte vereinigt gedacht werden. Die Dicke der elektrischen Schicht auf der äufseren Kugelfläche ist constant, obgleich letztere sich an verschiedenen Stellen in verschiedener Entfernung von den elektrisirten Theilchen befindet. Wenn daher auch die Elektricität mit einem Funken von einem der innerhalb befindlichen Körper zu einem andern oder zu der Kugel selbst übergeht, so wird die Totalwirkung nach Aufsen nicht verändert. — Faraday hat zu dem letzten Satze einen experimentellen Beleg gegeben[1]). Ein $10\frac{1}{2}$ Zoll hoher 7 Zoll breiter Zinn-Eimer wurde isolirt und mit einem Goldblattelektroskope verbunden. Als eine positiv elektrisirte Metallkugel an einem Seidenfaden in den Eimer hinabgelassen war, divergirte das Elektroskop mit positiver Elektricität und blieb, wenn die Kugel eine gewisse Tiefe erreicht hatte, unverändert, die Kugel mochte tiefer gesenkt, gegen die eine oder andere Seite hin bewegt

[1]) *Lond. and Edinb. philos. magazine.* 22. 200.

Digitized by Google

werden. Es wurden in den Eimer drei kleinere gestellt, und [229]
von jenem und von einander durch untergestellte Schellackplatten isolirt. Die Eimer mögen der Reihe nach von aufsen nach innen mit 1...4 bezeichnet sein. Eine oder mehrere elektrisirte Kugeln, die in 4 hinabgelassen wurden, brachten das mit 1 verbundene Elektroskop zum Divergiren; die Divergenz blieb ungeändert, als die Kugeln ihre Elektricität an 4 durch Berührung abgaben, als 4 mit 3, 3 mit 2 und endlich 2 mit 1 metallisch verbunden wurde.

Tafeln über die elektrische Anordnung auf zwei Kugeln.

Plana[1]) hat in einer weitschichtigen Abhandlung die 230
Ableitungen einiger Formeln Poissons zu ergänzen, und vorzüglich ihre Berechnung zu erleichtern versucht. Ich theile daraus die an das Ende dieses Bandes gestellten Tafeln numerischer Werthe mit, die bei manchen Versuchen nützlich werden können.

In der ersten Tafel ist die mittlere Dichtigkeit und Elektricitätsmenge auf zwei einander berührenden Kugeln gegeben. Es sind Radius, mittlere Dichtigkeit und Elektricitätsmenge der gröfseren Kugel mit 1, A und E_1, der kleineren Kugel mit b, B und E_b bezeichnet. In den numerischen Werth von A und B geht eine Gröfse h ein, die, von der beiden Kugeln mitgetheilten Elektricitätsmenge abhängig, bei dem Gebrauche der Tafel fortfällt, da stets Verhältnisse von Dichtigkeiten gesucht werden. In der letzten Spalte der Tafel ist der aliquote Theil der Elektricitätsmenge angegeben, der auf die kleinere der in Berührung stehenden Kugeln übergeht, und aus dem Verhältnisse $\frac{B}{A} = \beta$ berechnet worden ist. Man hat nämlich, wenn beiden Kugeln gemeinschaftlich die Elektricitätsmenge 1 mitgetheilt ist, $E_b = 1 - E_1$ ferner $E_1 = 4\pi A$ $E_b = 4\pi b^2 B$ und hieraus

$$\frac{E_1}{E_b} = \frac{1}{b^2\beta} \qquad E_b = \frac{b^2\beta}{1 + b^2\beta}$$

[1]) *Mémoires de l'Acad. d. Scienc. Turin sér. 2. t. 7. Sur la distribution de l'électr. à la surface de 2 sphères.* Tur. 1845. 4to. 333 *pages.*

Digitized by Google

231 Die zweite Tafel giebt auf zwei einander berührenden Kugeln die gröfste Dichtigkeit, welche auf jeder Kugel an dem Punkte stattfindet, der dem Berührungspunkte diametral gegenüberliegt. Diese Dichtigkeiten können im Verhältnisse zu einander oder, mit Hülfe der ersten Tafel im Verhältnisse zur mittleren Dichtigkeit jeder Kugel gefunden werden. Um, zum Beispiel, bei zwei Kugeln mit den Radien 4 und 1, die gröfste Dichtigkeit der kleineren Kugel im Verhältnisse zur mittleren Dichtigkeit der gröfseren zu finden, sucht man für $b = \frac{1}{4}$ den Werth $\frac{Z}{h}$ in der zweiten Tafel und $\frac{A}{h}$ in der ersten Tafel, und berechnet $\frac{Z}{A} = \frac{232895}{94236} = 2{,}471$, wofür Poisson den Werth 2,477 berechnet hatte (§. 208.).

232 In der dritten Tafel ist die Entfernung zweier in Berührung elektrisirten Kugeln berechnet, in welcher der frühere Berührungspunkt an der kleineren Kugel unelektrisch wird. Diese Entfernung, eine Function des Verhältnisses der beiden Kugelradien, ist von Poisson nicht a priori bestimmt worden. Plana hat die Bestimmung versucht und nach seiner Formel die mitgetheilte Tafel berechnet, die indefs noch der Prüfung bedarf. Die drei von Coulomb angestellten Versuche (§. 187.) werden, wie die folgende Zusammenstellung ergiebt, durch die Tafel nicht genügend dargestellt. Es ist a der Halbmesser der gröfseren, b der der kleineren Kugel, c die Entfernung ihrer Centra.

a	b	$c-(a+b)$ beobachtet.	$c-(a+b)$ berechnet.
66 Linien	48	12	19,9
—	24	21	25,9
—	12	29	26,4

Digitized by Google

Achtes Kapitel.

Von der Ansammlung der Elektricität.

Um eine gröfsere Elektricitätsmenge zur Benutzung zu er- 233
halten, mufs man einen Leiter mit grofser Oberfläche wählen, dessen Elektrisirung entweder direct durch Reibung, oder durch einen in seine Nähe gebrachten geriebenen Isolator bewirkt wird. Dieser Isolator erregt nämlich, nach den früheren Erfahrungen, im Leiter beide Influenzelektricitäten, und man hat daher nur die eine von ihnen fortzuschaffen, um den Leiter mit der anderen geladen zurückzubehalten, alsdann aber den Einfluſs des Isolators aufzuheben. Zur leichten Ausführung dieser Operationen hat man den Leiter und Isolator zu Einem Apparate mit einander verbunden, der, je nach der Art der fortzuschaffenden Influenzelektricität, von verschiedener Einrichtung und Benennung ist. *Elektrisirmaschine* heifst der Apparat, wenn die Influenzelektricität *erster* Art von dem Leiter fortgeschafft, dieser daher mit dem Isolator gleichnamig elektrisirt wird; *Elektrophor* wird er genannt, wenn die Influenzelektricität *zweiter* Art fortgeschafft wird, der Leiter also mit dem Isolator ungleichnamig elektrisch zurückbleibt. Aber beide Apparate genügen in vielen Fällen nicht, in welchen man grofse Elektricitätsmengen ohne unbequeme Vergröfserung des Leiters zu erhalten wünscht. Alsdann verbindet man mit einem dieser Apparate einen eigenthümlich zusammengesetzten Leiter, den *Condensator*, der eine viel gröfsere Elektricitätsmenge aufzunehmen vermag, als ein einfacher Leiter gleicher Gröfse. Ich werde diese drei wichtigen Apparate ausführlich abhandeln, nachdem die dazu nöthigen Erfahrungen über die elektrische Anordnung auf Kegeln und Spitzen, und der Einfluſs dieser Anordnung auf die Ansammlung von Elektricität angeführt worden.

Digitized by Google

Anordnung der Elektricität auf Kegeln u. Spitzen.

234 Auf der Spitze eines mathematischen Kegels ist die elektrische Dichtigkeit nach Poissons Untersuchungen unendlich grofs (§. 205.), und auf solchen Kegeln von beliebigen Dimensionen findet daher keine elektrische Anordnung statt. Die Elektricität verschwindet nämlich sogleich von jedem Körper, an dem die elektrische Dichtigkeit irgend eines Punktes eine bestimmte Gröfse übersteigt; da sich nun keine Elektricitätsmenge angeben läfst, die einem Kegel mitgetheilt, der Spitze desselben eine geringere Dichtigkeit gäbe, so wird der Kegel nicht elektrisch werden können. Aber die in der Natur vorkommenden und die künstlich verfertigten Spitzen sind nicht als vollkommene, sondern als abgestumpfte Kegel zu betrachten; sie lassen sich elektrisiren, und es zeigt sich, dafs die Dichtigkeit an der Spitze eines solchen Kegels viel gröfser ist, als an irgend einem Punkte seines Mantels, und dafs die Dichtigkeit nach den Dimensionen des Kegels verschieden ist, namentlich mit zunehmender Höhe und abnehmendem Spitzenwinkel zunimmt.

235 Ich liefs drei massive Messingkegel anfertigen, deren Spitzenwinkel $90\frac{1}{2}$, $45\frac{1}{2}$, $20\frac{1}{2}$ Grade betrug, und deren Höhe respective 6,61; 15,96 und 36,78 Linien mafs. Die Basis wurde bei allen dreien durch eine Kreisfläche von 13,37 Lin. Durchmesser gebildet, so dafs je zwei Kegel zu einem Doppelkegel zusammengesetzt werden konnten, der zwei Spitzen und eine zugeschärfte Kreiskante erhielt. Auf dem Kegel 90° war eine Seitenlinie in 6, auf den beiden anderen Kegeln in 10 gleiche Theile getheilt. Ich setzte zuerst die Kegel 90° und 45° zusammen, elektrisirte sie auf einem isolirenden Stande, und bestimmte die elektrische Dichtigkeit der Spitzen und der bezeichneten Punkte der Seitenlinien im Verhältnisse zur Dichtigkeit der Kreiskante. Es wurde, da es hier nicht auf genaue Zahlenwerthe ankommt, das Torsionselektrometer (§. 75.) und die Methode der abwechselnden Bestimmung angewendet. In Fig. 57 sind die Ergebnisse dieser Messung übersichtlich an einem Durchschnitte des Doppelkegels dargestellt. Von der gemeinschaftlichen Kreiskante nimmt die Dichtigkeit auf jedem

Digitized by Google

der beiden Kegel ab, und erhält in einiger Entfernung von [235]
jener Kante den kleinsten Werth. Der Kreis der kleinsten elektrischen Dichtigkeit liegt auf dem Kegel von 90° zwischen dem ersten und dritten Sechstel der Seitenlinien, auf dem Kegel von 45° hingegen zwischen dem zweiten und vierten Zehntel. Von dieser Stelle an nimmt die Dichtigkeit wieder zu, anfangs langsam, gegen die Spitze zu schneller, und erreicht auf dieser selbst ihren gröfsten Werth. Das Verhältnifs der Dichtigkeit auf der schärferen Spitze zu der auf der stumpferen ist 1,36 : 1.

Eine zweite Reihe von Messungen wurde an einem Doppel- 236
kegel angestellt, der aus dem Kegel 90° und dem von 20° zusammengesetzt war. Fig. 58 zeigt die Resultate. Die Dichtigkeit nimmt von der Kreiskante an auf dem Kegel von 90° ab, und erreicht zwischen dem ersten und dritten Sechstel der Seitenlinie ihren kleinsten Werth, von da an nimmt sie zu und wird bei dem fünften Sechstel der Dichtigkeit der Kante gleich. Auf dem Kegel von 20° nimmt die Dichtigkeit viel schneller ab, erreicht aber erst bei dem dritten Zehntel ihr Minimum. Bei $\frac{8}{10}$ der Seitenlinie ist sie der der Kante gleich. Die Dichtigkeit der schärferen Kegelspitze zu der der stumpfen verhielt sich wie 1,51 : 1. —

Das Verhältnifs der Dichtigkeiten der Spitzen der Doppelkegel wurde noch durch andere und genauere Messungen in der Torsionswage bestimmt, mit Anwendung der Methode der gepaarten Prüfungskörper (§. 117.).

Zwei Prüfungsscheiben von $5\frac{1}{6}$ Linien Durchmesser wurden gleichzeitig an die beiden Spitzen eines elektrisirten Doppelkegels angelegt und successiv in die Wage gebracht. Bei dem Doppelkegel von 90 und 45° wurde das Verhältnifs der Dichtigkeiten der Spitzen 1,36 gefunden; in einem Controlversuche, wo die Prüfungsscheiben an je eine Spitze und die Kreiskante angelegt waren, gleichfalls 1,36. Beide Werthe stimmen mit dem früher gefundenen genau überein. Bei dem Doppelkegel 90 und 20° gab die gleichzeitige Berührung der Spitzen das Verhältnifs 1,62, der Controlversuch 1,57 von der Bestimmung am Torsionselektrometer nicht sehr abweichend.

Die beiden vorangehenden Paragraphe zeigen, dafs wenn 237
ein Kegel von 90° mit einer Kreisfläche geschlossen ist, und

Digitized by Google

[237] auf dieser Fläche gerade Kegel mit verschiedenen Spitzenwinkeln beschrieben werden, die elektrische Dichtigkeit der Spitze des aufgesetzten Kegels im Verhältnisse zu der des Grundkegels desto gröfser ist, je kleiner der Spitzenwinkel des ersteren ist. Die Zunahme der Dichtigkeit mit abnehmendem Spitzenwinkel ist eine absolute, denn als die beiden angewandten Doppelkegel auf möglichst gleiche Weise elektrisirt wurden, fand sich unzweifelhaft die gröfsere Dichtigkeit auf dem Doppelkegel, der den spitzeren Winkel hatte. Es wurde nun statt des Grundkegels zur Basis der verschiedenen Kegel der Würfel genommen, dessen elektrischer Zustand §. 132 bestimmt worden ist. Ich erinnere daran, dafs auf der Mitte einer Würfelfläche eine Kreisfläche von 26 Linien Durchmesser gefunden worden ist, die eine von dem Mittelpunkte aus gleichförmig und nur wenig zunehmende Dichtigkeit besitzt. Auf diese Kreisfläche wurde jeder der drei Kegel gestellt und die Dichtigkeit seiner Spitze und die einer Würfelspitze bestimmt, indem die Dichtigkeit der Mitte einer freien Würfelfläche zur Einheit genommen wurde. Es wurden Prüfungskugeln und die Methode der gepaarten Prüfungskörper angewendet, und gaben die folgenden Resultate.

238 Würfel und Kegel von 90°

Geprüfte Stelle.	Bezeichnung der Kugel.	Zeitintervall.	Torsionen, beobacht.	Torsionen, berechn.	Elektrische Dichtigkeit.
Mitte d. Würfelfläche	4		74		d. Kegelspitze
- Kegelspitze	3	4',8	187	208,2	2,81
		4,3	170		
- Würfelfläche	3		75		
- Kegelspitze	4	2,5	203	212,8	2,84
		3,5	190		
- Würfelfläche	3		70		Würfelspitze
- Würfelspitze	4	3,6	268	288,7	4,12
		2,4	255		

Digitized by Google

Würfel und Kegel von 45° [238]

Geprüfte Stelle.	Bezeichnung der Kugel.	Zeitintervall.	Torsionen, beobacht.	Torsionen, berechn.	Elektrische Dichtigkeit.
Mitte d. Würfelfläche	3		72		d. Kegelspitze
- Kegelspitze	4	3',	355	381,5	5,30
		1,8	340		
- Würfelfläche	4		65		
- Kegelspitze	3	4,	317	349,	5,37
		3,	295		
- Würfelfläche	3		70		Würfelspitze
- Würfelspitze	4	3,7	271	297,	4,24
		2,3	256		
Würfel und Kegel von 20°					
Mitte d. Würfelfläche	3		36		d. Kegelspitze
- Kegelspitze	4	4',1	269	302,3	8,10
		2,6	250		
- Würfelfläche	4		37		
- Kegelspitze	3	2,9	273	299,	8,08
		1,8	258		
- Würfelfläche	3		28		Würfelspitze
- Würfelspitze	4	3,3	108	117,3	4,19
		5,7	93		

Die Resultate dieser Messungen sind in Fig. 59 dargestellt. Die elektrische Dichtigkeit an der Spitze der aufgesetzten Kegel beträgt 2,82 5,33 8,24, wenn die Dichtigkeit auf der Mitte der Würfelfläche 1 gesetzt ist. Die Anordnung der Elektricität auf den Würfelflächen, die nicht von dem Kegel berührt werden, ist nicht wesentlich geändert worden. Eine Aenderung derselben müfste am auffallendsten bei der Vergleichung der Würfelspitzen, die dem Kegel zunächst liegen, mit der Mitte der Würfelfläche hervortreten. Hierbei sind in den drei Versuchen die Werthe gefunden worden 4,12 4,24 4,19, welche Werthe, aus einzelnen Messungen hervorgehend, sich nur wenig von dem genauen Werthe 4,22 entfernen, der aus vielen Versuchen an dem alleinstehenden Würfel hergeleitet worden ist (§. 134.). 239

Die Zunahme der elektrischen Dichtigkeit an den Kegelspitzen mit Abnahme des Spitzenwinkels findet statt, wie auch der Leiter gestaltet sein mag, mit dem die verschiedenen Kegel in Verbindung gesetzt werden. Aber eine nothwendige Bedin- 240

Digitized by Google

[240] gung hierbei ist, dafs die Kegel mit einer Fläche gleicher Form und Gröfse geschlossen sind, und mit dieser den Leiter an einer bestimmten Stelle berühren. Aendert man zugleich den Spitzenwinkel und die Grundfläche des Kegels, so ist über die Aenderung der Dichtigkeit seiner Spitze Nichts vorauszusagen. Sehr auffallend zeigte sich dies, als auf die Mitte der Fläche des oben beschriebenen Würfels eine feine englische Nähnadel von $7\frac{1}{2}$ Linien Länge und $\frac{1}{6}$ Linie gröfster Dicke aufgesetzt wurde. Obgleich diese Nadel, als Kegel betrachtet, nur einen Spitzenwinkel von etwa 1 Grad besafs, so fand sich die elektrische Dichtigkeit ihrer Spitze im Verhältnisse zu der auf der Mitte einer Würfelfläche (mit dem Torsionselektrometer gemessen) 3,45 3,46 3,40 und dieser geringe Werth wurde durch eine Messung in der Torsionswage bestätigt, welche ihn 3,52 angab. Hier also verdichtete die feine Nadel die Elektricität bedeutend weniger, als ein Kegel von 45 Graden (§. 238.), der den elektrisirten Würfel mit einer viel gröfseren Grundfläche berührte. Als die Nadel bis $6\frac{1}{2}$ Linien verkürzt war, wodurch sie dieselbe Höhe erhielt, die der Metallkegel von 90° besafs, fand sich die Dichtigkeit ihrer Spitze nah 3,3, während der Kegel eine Dichtigkeit von nur 2,8 gegeben hatte (§. 238.). Bei einer Länge von $4\frac{11}{12}$ Linien betrug die Dichtigkeit an der Nadelspitze 2,6.

241 Ist ein Leiter gegeben, an den ein leitender gerader Kegel angesetzt wird, und vergleicht man die Dichtigkeit der Kegelspitze mit der eines Punktes am Leiter, so folgt aus den aufgeführten Versuchen, dafs bei gleicher Basis des Kegels die Dichtigkeit der Spitze desto gröfser gefunden wird, je kleiner sein Spitzenwinkel ist. Nach dem Gesetze der Zunahme der Dichtigkeit kann im Allgemeinen nicht gefragt werden, da dasselbe variirt mit der Form und den Abmessungen des Leiters, an den der Kegel angesetzt ist. Werden Kegel von gleichem Winkel und verschiedener Höhe an den Leiter gesetzt, so nimmt die Dichtigkeit der Spitze mit der Höhe zu. Es ist indefs wahrscheinlich, dafs die Dichtigkeit bei einer gewissen Höhe des Kegels, die von Form und Gröfse des Leiters abhängt, ein Maximum erreicht, da Coulomb ein solches bei verschieden langen Cylindern gefunden hat, die mit einer Ku-

Digitized by Google

gel in Berührung standen (§. 155.). Läfst man die Höhe des [241]
Kegels unverändert, so giebt die Verminderung seines Spitzenwinkels nur eine geringe Zunahme der Dichtigkeit. Man sieht hieraus, dafs, wenn durch Ansetzung eines Kegels an einen Leiter eine bestimmte Dichtigkeit hervorgebracht werden soll, dies immer möglich ist, wenn Höhe und Spitzenwinkel des Kegels beliebig sind, nicht aber, wenn die Höhe des Kegels gegeben ist. Hätte z. B. bei dem §. 238 angewandten Würfel der Kegel von 90° nicht die gewünschte elektrische Dichtigkeit gehabt, so würde dadurch, dafs der Winkel desselben bis 1 Grad verringert worden wäre, wenig gewonnen sein. Die Dichtigkeit der Spitzen in Bezug auf die kleinste Dichtigkeit am Würfel hat dadurch nur im Verhältnisse 2,8 zu 3,3 zugenommen (§. 240.).

Kegel gleicher Abmessungen zeigen eine desto gröfsere 242
elektrische Dichtigkeit, je vollkommener ihre Spitzen erhalten sind. Die elektrische Prüfung läfst daher die relative Vollkommenheit zwischen zwei Spitzen erkennen; ich verglich einige Spitzen des Pflanzenreiches mit einer feinen englischen Nähnadel. Die vegetabilische Spitze wurde durch eine kleine Stanniolplatte gesteckt, welche die Mitte einer Kupferscheibe von 3 Zoll $9\frac{3}{4}$ Linien Durchmesser einnahm. Nachdem die Scheibe elektrisirt war, wurde die elektrische Dichtigkeit der Spitze im Verhältnisse zu der am Rande der Scheibe bestimmt. Eine gleiche Bestimmung mit feinen Nähnadeln verschiedener Länge liefs die Vollkommenheit der gebrauchten vegetabilischen Spitze beurtheilen. Die elektrische Dichtigkeit am Rande der Scheibe ist in der folgenden Tafel = 1 gesetzt.

Pflanzengattung.		Länge des Stachels.	Elektr. Dichtigkeit.	
Euphorbia . . .		6 Linien	0,90	
	Engl. Nadel	6 -		0,85
	Dieselbe	$4\frac{1}{3}$ -		0,76
Stachelbeerstrauch		$4\frac{1}{4}$ -	0,72	
Derselbe		$4\frac{1}{6}$ -	0,68	
Cactus		4 -	0,65	
Acazie		4 -	0,64	
Cactus		$3\frac{1}{7}$ -	0,55	
Schwarzdorn . .		$3\frac{1}{4}$ -	0,54	
	Engl. Nadel	$3\frac{1}{3}$ -		0,63
Rose		$2\frac{5}{6}$ -	0,52	
	Dieselbe	$2\frac{3}{4}$ -		0,54

Digitized by Google

[242] Der Stachel einer Euphorbiaart übertraf also die engl. Nähnadel an Vollkommenheit der Spitze, der des Stachelbeerstrauches kam ihr fast gleich, die übrigen untersuchten Stacheln blieben gegen die Nadel zurück.

Wirkung der Spitzen an elektrisirten Körpern.

243 Bei der Zerstreuung der Elektricität in die Luft ist im Allgemeinen gefunden worden, dafs der Zerstreuungscoefficient unabhängig von der angewandten Elektricitätsmenge bleibt. Ein Körper, dem in der Zeiteinheit ein bestimmter Bruchtheil der Elektricitätsmenge 1 durch die Luft entzogen wird, verliert denselben Theil von einer gröfseren oder kleineren Menge, er verliert also, wenn wir mehrere aufeinanderfolgende Sekunden beobachten, in jeder Sekunde denselben Theil der Elektricitätsmenge, die er am Anfange der Sekunde besafs (§. 98.). Aber schon das nächste Kapitel über den Elektricitätsverlust durch isolirende Stützen beschränkte diesen Satz. Wir haben gesehen (§. 104.), dafs auch der beste Isolator Elektricität von gewisser Dichtigkeit leitet, und ein elektrisirter Körper (der nothwendig von Isolatoren gehalten wird) nur Elektricität bis zu einer bestimmten Dichtigkeit enthalten darf, wenn er diese Elektricität allein durch Zerstreuung in die Luft verlieren soll. Besitzt der Körper eine gröfsere Elektricitätsmenge, so wird er in jeder der ersten Sekunden einen gröfseren Theil von Elektricität verlieren, als in jeder der letzten, wo seine Elektricitätsmenge wieder unter die bestimmte Gränze gesunken ist.

244 Eine weitere Beschränkung des obigen Satzes, die schon §. 115 angedeutet ist, tritt aber dadurch ein, dafs die Luft selbst die Elektricität in der eigenthümlichen Weise, welche die Zerstreuung bedingt, nur so lange fortleitet, als die Dichtigkeit dieser Elektricität eine gewisse, von dem Zustande der Luft abhängige Gränze nicht überschritten hat. Ist diese Gränze überschritten, so erfolgt ein viel gröfserer Elektricitätsverlust, als den die Zerstreuung allein giebt, und dieser Verlust ist von Merkmalen (Licht und Geräusch) begleitet, die später bei den Entladungserscheinungen betrachtet werden sollen. Man

Digitized by Google

nennt die Ursache dieses gesteigerten Elektricitätsverlustes die [244]
Ausströmung der Elektricität im Gegensatze zu der Zerstreuung derselben. Der Erfolg der Ausströmung, auf den es hier allein ankommt, ist derselbe, der durch die Leitung der festen Isolatoren bedingt wird. Ein Körper, der eine grofse Menge von Elektricität erhalten hat, läfst von dieser Elektricität so lange *ausströmen*, bis keine Stelle an ihm eine gröfsere Dichtigkeit besitzt, als ein bestimmter gegebener Werth ausdrückt, alsdann aber wird die noch vorhandene Elektricitätsmenge nach den früher mitgetheilten Gesetzen in die Luft zerstreut.

Wir wollen einen elektrisirten Leiter annehmen, dessen 245
mittlere Dichtigkeit (die Elektricitätsmenge durch die Oberfläche dividirt) a beträgt, und na die Dichtigkeit nennen, bei welcher Elektricität in die Luft auszuströmen anfängt, wo n gröfser als 1 sei. Die Erfahrungen über die Anordnung der Elektricität auf Leitern lassen sogleich erkennen, dafs es auf die Gestalt des Leiters und die Gröfse von n ankommt, ob ein Ausströmen der Elektricität stattfindet, oder nicht. Ist der Leiter eine Kugel, so kann bei keinem Werthe von n Elektricität ausströmen. Auf der Kugel hat jeder Punkt die Dichtigkeit a, und die Elektricitätsmenge müfste daher auf das $n$fache gesteigert werden, um die Bedingung des Ausströmens zu erfüllen. Bei jeder andern Form finden sich auf dem Leiter Punkte, die über die mittlere Dichtigkeit hinausgehen, und es kommt dann auf die anfängliche Elektricitätsmenge an, mit deren Vermehrung n abnimmt, ob die Gränze na an einem Punkte überschritten wird, und ein Ausströmen erfolgt. Besitzt der Leiter eine kegelförmige *Spitze*, so wird das Ausströmen bei der kleinsten anfänglichen Elektricitätsmenge beginnen, weil die Dichtigkeit der Spitze die mittlere Dichtigkeit des Leiters um mehr übersteigt, als jede andere Stelle des Leiters, und zwar um desto mehr, je länger und feiner sie ist. Es sei eine Spitze am Leiter befindlich, deren Dichtigkeit zu der mittleren des Leiters sich wie $5n$ zu 1 verhält, so wird bei der angenommenen mittleren Dichtigkeit a das Ausströmen stattfinden, und so lange fortdauern, bis diese Dichtigkeit unter $\frac{a}{5}$ gesunken, das heifst der Leiter mehr als $\frac{4}{5}$ seiner ihm anfänglich

Digitized by Google

[245] gegebenen Elektricitätsmenge durch Ausströmen verloren hat. Bei einer schärferen Spitze würde der Verlust mehr betragen, und ein Leiter, an den ein vollkommener Kegel angesetzt wäre, würde auch die kleinste Elektricitätsmenge durch Ausströmung verlieren, also gar nicht bleibend elektrisirt werden können.

246 Vollkommene Spitzen, die einen Leiter jeder Spur von Elektricität berauben, lassen sich nicht verfertigen, und die Wirkung einer künstlichen Spitze ist daher darauf beschränkt, die Elektricitätsmenge des Leiters, auf dem sie angebracht ist, augenblicklich auf eine in jedem Falle bestimmte Gröfse herabzubringen. Ist der Leiter mit seiner Spitze auf diese Elektricitätsmenge gekommen, oder hat er sie gleich anfangs besessen, so tritt der gewöhnliche Verlust ein, durch Zerstreuung der Elektricität in die Luft. — Der Metallcylinder *a b* an dem Apparate Fig. 46 läfst sich, wenn die Glasscheibe *e* und Kugel *d* entfernt sind, leicht so stark elektrisiren, dafs das Pendel *a* 90 Grade divergirt. Ist aber eine feine Nadel von 14 Linien Länge an eins seiner Enden angesetzt, so erhält das Pendel dauernd keine Divergenz über 20 Grad.

247 Wenn der Leiter nur Eine Elektricitätsart besitzt, so ist der Erfolg nur der Gröfse nach von der Stelle abhängig, an der die Spitze sich befindet, sind hingegen beide Elektricitäten auf dem Leiter befindlich, so ist der Erfolg je nach der Stellung der Spitze ein wesentlich verschiedener. Es sei der cylindrische Leiter *a b* (Fig. 46.) durch Influenz der darunter gestellten positiv elektrisirten Kugel *e* elektrisirt; das Ende *b* des Leiters wird negativ, das Ende *a* positiv elektrisch sein. Bringen wir bei *a* eine Nadel an, welche Elektricität ausströmen läfst, so wird das positive Pendel *a* sinken, das negative *b* steigen, und zwar um so mehr, je vollkommener die Spitze der Nadel ist. Wird nun die Kugel *e* entfernt, so bleibt der Cylinder *a b* negativ elektrisch zurück. ***Eine an dem abgewandten Ende eines influencirten Leiters angebrachte hinlänglich feine Spitze hat die Wirkung, den Leiter mit der Influenzelektricität erster Art zu laden.*** Setzt man hingegen die Spitze an das der Kugel zugewandte Ende *b* des Cylinders, unter welchem die positiv elektrisirte Kugel *e* steht, so sieht man das negative Pendel *b* sinken, das positive *a* steigen, und findet

Digitized by Google

nach Entfernung der Kugel den Cylinder positiv elektrisch. [247]
Eine an das zugewandte Ende eines influencirten Leiters angesetzte Spitze ladet den Leiter mit Influenzelektricität zweiter Art, also mit derselben Elektricitätsart, die der influencirende Körper besitzt.

Diese zwiefache Wirkung der Spitze wird durch einen 248
früheren Versuch (§. 164.) erklärt, in welchem der influencirte Cylinder oben oder unten durch einen angelegten isolirten Leiter verlängert und dieser sodann entfernt wurde. Auch dort blieb je nach der Anlegungsstelle der Cylinder positiv oder negativ zurück. Wie dort der Leiter einen Theil der erregten Elektricität entfernte, so thut es hier die Spitze durch Ausströmung. — Dafs die zurückbleibende Elektricität in dem vorigen Paragraphe nach Fortrückung der Kugel *e* nicht durch Ausströmung verloren geht, ist aus der Unvollkommenheit der angewandten Spitze leicht erklärlich. Die ausströmende Elektricität war auf einen kleinen Theil des Cylinders beschränkt, die zurückbleibende ist über den ganzen Cylinder verbreitet. Im letzten Falle mufste also die Dichtigkeit an der Spitze viel geringer sein, als im ersten, würde aber bei einer schärferen Spitze genügend gewesen sein, ein Ausströmen zu veranlassen.

Nach dem Vorhergehenden bewirkt eine Spitze an einem 249
influencirten Leiter, dafs eine der beiden Influenzelektricitäten fortgeschafft wird, und daher der Leiter dauernd geladen zurückbleibt. Hieraus folgt noch eine hinzukommende Wirkung der Spitze. Wir haben früher gesehen (§. 164.), dafs die Influenz auf einen Leiter durch die Nähe der beiden auf ihm vorhandenen Elektricitäten beschränkt wird, so dafs, wenn die Entfernung dieser Elektricitäten von einander durch Verlängerung des Leiters vergröfsert wird, die Stärke der Influenz zunimmt. Denselben Erfolg wie die Verlängerung des Leiters, mufs daher die Anbringung einer Spitze haben, welche die eine Elektricitätsart fortschafft. Hält man über ein Goldblattelektroskop, dessen Zuleiter in einer Kugel endigt, einen positiv elektrisirten Körper, so divergiren die Blättchen mit positiver Elektricität, und fallen bei Entfernung des Körpers wieder zusammen; ersetzt man die Kugel durch eine ausströmende Spitze, so ist die Divergenz nicht nur dauernd geworden, sondern sie

Digitized by Google

[249] ist auch stärker. Die Spitzen geben daher ein Mittel ab, die Empfindlichkeit eines Elektroskops für eine entfernte Elektricität zu erhöhen, und dies Mittel ist um so wirksamer, je feinere Spitzen dazu angewendet werden, je leichter eine Ausströmung erfolgen kann.

250 Es ist noch eine wichtige Wirkung der Spitzen übrig, die im Jahre 1747 von Franklin entdeckt worden ist, und denselben zwei Jahre später zur Erfindung des Blitzableiters führte [1]). Wenn eine nicht isolirte Spitze in der Nähe eines elektrisirten Körpers und demselben zugekehrt gehalten wird, so verliert dieser sogleich einen Theil seiner Elektricität. Man rücke den Cylinder *a b* (Fig. 46.) bis zur Berührung der Kugel *e*, so dafs er mit ihr Einen Leiter ausmacht, elektrisire ihn bis zu einer bedeutenden Divergenz des Pendels *a*, und führe eine in der Hand gehaltene feine Nadel langsam gegen die Kugel. Wenn die Spitze der Nadel einige Zolle von der Kugel entfernt ist, bemerkt man ein Sinken des Pendels, das mit der Näherung der Spitze zunimmt. Stellt man die Nadel in einer kleinen Entfernung fest, so läfst sich der Leiter nur bis zu einer bestimmten Divergenz des Pendels elektrisiren, und jede ferner hinzugebrachte Elektricitätsmenge wird durch die Spitze sogleich fortgeschafft. Eine kurze isolirte Spitze hat diese Wirkung nicht, erhält sie aber, wenn man einen Leiter an sie setzt, und zeigt sie am stärksten, wenn dieser Leiter sehr lang, also die Isolation der Spitze aufgehoben ist. Diese sogenannte einsaugende Kraft der Spitze währt so lange, als aus ihr Elektricität ausströmt, und hängt somit ersichtlich mit der §. 247 beschriebenen Spitzenwirkung zusammen. Wir haben dort gesehen, dafs eine Spitze eines isolirten Leiters, einer positiv elektrisirten Kugel zugewendet, den Leiter positiv ladet, indem die Spitze negative Elektricität ausströmen läfst. Dies Ausströmen mufste dadurch aufhören, dafs Leiter und Spitze positiv geladen wurden. Machen wir den Leiter unendlich lang oder, was dasselbe ist, heben wir seine Isolirung auf, so kann diese Ladung nicht eintreten, und die Spitze wird negative Elektricität ausströmen, so lange der ursprünglich elektrisirte

[1]) *Experim. and observat.* p. 4. u. 64.

Digitized by Google

Körper seine Elektricität besitzt. Diese Elektricität nimmt [250]
aber fortwährend ab, und wenn sie so schwach geworden, dafs sie die Spitze nicht mehr durch Influenz hinlänglich elektrisirt, so hört das Ausströmen an der letzteren auf.

Die Verminderung der Elektricität des ursprünglich elek- 251
trisirten Körpers durch das elektrische Ausströmen an der entgegengehaltenen Spitze mufs einem zwiefachen Grunde zugeschrieben werden. Es wird später bei Aufführung der Entladungserscheinungen gezeigt, dafs bei jedem Ausströmen von Elektricität elektrisirte Luft von der Spitze heftig abgestofsen wird. Die Elektricität ausströmende Spitze in der Nähe des positiv elektrisirten Körpers führt diesem negativ elektrisirte Luft entgegen, welche, wenn sie den Körper erreicht, die positive Elektricität des Körpers durch wirkliche Mittheilung vermindert. Ferner aber ist aus früher angeführten Gesetzen klar, dafs die Anordnung der Elektricität auf einem elektrisirten Leiter durch die Nähe eines unelektrischen Leiters wesentlich geändert, und dafs namentlich die Dichtigkeit der nächsten Punkte des elektrisirten Leiters gesteigert wird (§. 218.). Es geschieht häufig, dafs ein Leiter einzelnstehend seine Elektricität nicht ausströmen läfst, weil kein Punkt an ihm die dazu nöthige Dichtigkeit besitzt, dies aber sogleich thut, wenn ihm ein unelektrischer Körper genähert wird. Versuche über die Schlagweite, die später aufgeführt werden (§. 626.), lassen schliefsen, dafs eine elektrisirte Kugel oder Scheibe, der eine Spitze nahe gebracht ist, an dem der Spitze nächsten Punkte eine viel gröfsere Dichtigkeit besitzt, als wenn die Spitze entfernt wird. Hiernach wird eine nicht isolirte Spitze, einem elektrisirten Körper genähert, ein Ausströmen der Elektricität dieses Körpers veranlassen können, das bis zu einer gewissen mittleren Dichtigkeit des Körpers fortwährt. Es kommen häufig Fälle vor, wo die im vorigen Paragraphe beschriebene Wirkung der Spitze nur auf diese Weise erklärt, der elektrisirten fortgestofsenen Luft kein Antheil an dieser Wirkung zugeschrieben werden kann.

Von der vorigen Wirkung wesentlich nicht verschieden 252
ist die Wirkung einer elektrisirten Spitze auf einen nicht elektrisirten Leiter. Man befestige auf der Kugel *e* (Fig. 46.)

Digitized by Google

[252] vertical eine Nadel, und lasse den Cylinder *ab* ungefähr 2 Zoll frei über der Spitze derselben stehen. Wird die Kugel positiv elektrisirt und sogleich durch Drehung des Glasarmes entfernt, so divergiren die Pendel des Cylinders mit positiver Elektricität. Die Spitze strömt hier positive Elektricität aus, und wirkt auf den nahen Leiter ganz in derselben Weise, die der vorige Paragraph gezeigt hat, durch elektrisirte Luft und durch Influenz. Die Influenz kann, wie dort, nur dann zur Wirkung beitragen, wenn sie so stark ist, dafs die durch sie auf dem Leiter erregte negative Elektricität ausströmen kann. Eine später anzuführende Lichterscheinung (§. 672.) zeigt, dafs die Influenz eine solche Stärke erreichen kann, und es kommen Fälle vor, wo diese Influenz allein die von der Spitze hervorgebrachte Wirkung bedingt.

253 Alle Wirkungen der Spitzen, die wir bis hierher kennen gelernt haben, beruhen auf der grofsen elektrischen Dichtigkeit der Spitzen, und werden daher geschwächt oder ganz aufgehoben durch jede Anordnung, welche die Dichtigkeit an den Spitzen vermindert. Ein Fall einer solchen Schwächung ist praktisch merkwürdig. Die grofse Dichtigkeit, welche eine an einen Leiter angesetzte Spitze besitzt, wird durch Nebenstellung einer zweiten Spitze vermindert, und noch mehr durch eine dritte, vierte Spitze. An keiner Stelle eines Bündels von Spitzen ist die Dichtigkeit so grofs, wie an einer einzelnstehenden Spitze, und letztere ist daher viel kräftiger, als das Bündel, um einem entfernten Leiter Elektricität zu entziehen. Aber dies gilt nur für einen Leiter, nicht für jeden elektrisirten Körper. Jede Spitze des Bündels wirkt nämlich auf andere (die ihm nächsten) Punkte des gebotenen Körpers am kräftigsten, und die Gesammtwirkung der Spitzen ist von der Verbindung dieser Punkte unter einander abhängig. An einem Leiter zieht die Entladung Eines Punktes sogleich die der übrigen nach sich, nicht aber an einem Isolator. Eine einzelnstehende Spitze entzieht den nächsten Punkten eines Isolators mehr Elektricität, als jede Spitze eines Bündels, aber das letztere wirkt auf eine gröfsere Anzahl von einander unabhängiger Punkte. Daher werden, um einem Isolator Elektricität zu entziehen, mehrere nach der Form des Isolators vertheilte Spitzen nützlicher sein als eine einzige Spitze.

Digitized by Google

Eine Spitze ist völlig unwirksam, wenn sie bei der stärk- 254
sten Elektrisirung, die der mit ihr verbundene Leiter ohne auszuströmen verträgt, unelektrisch bleibt. Da nun im Innern eines Leiters kein mit ihm verbundener Körper elektrisch wird (§. 125.), so ist eine Spitze unwirksam, wenn sie an allen Seiten von einem hohlen Leiter umgeben ist. Schon bei der theilweisen Umhüllung, die das Aufsetzen einer Metallröhre bewirkt, wird die Dichtigkeit der Spitze so klein, dafs sie bei keiner, auch noch so starken Elektrisirung der Röhre ausströmt. Je breiter die Röhre ist, je länger mufs sie sein, um die Wirksamkeit einer in ihr befindlichen Spitze gänzlich aufzuheben. Ich setzte eine feine $3\frac{1}{2}$ Linien lange Nadelspitze auf eine Metallscheibe, und umgab sie mit einer 13 Linien hohen 9 Linien weiten Kupferröhre. Auch bei stärkster Elektrisirung der Scheibe blieb die Spitze unelektrisch, und wirkte daher nicht auf einen genäherten Leiter. —

Ich verlasse hier die elektrischen Eigenschaften der Spitzen, um auf sie in einem späteren Kapitel wieder zurückzukommen, schliefse aber die Eigenschaften der brennenden Körper an, da diese genau dieselben elektrischen Wirkungen hervorbringen, die wir von Spitzen erwarten müfsten, die an Feinheit alle von Menschenhand verfertigten Spitzen überträfen.

Die elektrischen Wirkungen brennender Körper.

Wirkungen glimmender Körper.

Die elektrischen Wirkungen brennender Stoffe sind viel 255
früher bekannt gewesen, als die der Spitzen (schon Gilbert kannte einige derselben am Ende des sechszehnten Jahrhunderts)[1]; wir fassen sie durch die Angabe zusammen, dafs alle Erfolge, die in den vorigen Paragraphen durch Spitzen erhalten wurden, weit vollkommener mit Hülfe eines glimmenden oder brennenden Körpers hervorgebracht werden. Die Wirkung glimmender Körper habe ich in folgender Weise untersucht. Es wurden zwei Metallscheiben von beinah 4 Zoll

[1]) Abhandl. d. Akad. d. Wissensch. Berl. 1844.* Phys. Kl. 28.

Digitized by Google

[255] Durchmesser horizontal über einander in der Entfernung von $5\frac{1}{2}$ Zoll an isolirenden Stielen befestigt; die obere Scheibe wurde mit einem Elektroskope verbunden, die untere durch eine trockene Säule elektrisirt erhalten (Fig. 60.). Als ein Stück glimmenden Zündschwammes auf die untere Scheibe gelegt war, divergirte das Elektroskop 5 bis 6 Linien. Der Schwamm wirkte also wie eine sehr feine Metallspitze. Dafs der Erfolg nicht durch den aufsteigenden Rauch bedingt war, zeigte der Versuch, den Schwamm auf eben die Weise, wie eine Spitze, unwirksam zu machen (§. 254.). Als nämlich die Kupferröhre (9 Linien breit 13 Linien hoch) auf den Schwamm gesetzt war, blieb der Erfolg völlig aus, obgleich der Rauch, wie früher, in einer dicken Säule gegen die obere Scheibe schlug. Durch Abnehmen und Aufsetzen der Röhre konnte der Schwamm abwechselnd wirksam und unwirksam gemacht werden.

256 Auch andere Wirkungen der Spitze konnten durch den Schwamm hervorgebracht, und durch die Röhre aufgehoben werden. Die obere der beiden Metallscheiben wurde mit der trockenen Säule, die untere mit dem Elektroskope verbunden und mit glimmendem Schwamme versehen. Lag dieser frei, so divergirte das Elektroskop sogleich, war hingegen die Röhre auf den Schwamm gesetzt, so trat keine Divergenz ein. — Es wurde die untere mit dem Elektroskope verbundene Scheibe durch momentane Berührung mit dem Pole der trockenen Säule elektrisirt, so dafs eine Divergenz von 13 Linien erfolgte; brachte man glimmenden Schwamm auf die Scheibe, so verlor sich diese Divergenz sehr schnell, erhielt sich aber eine geraume Zeit, wenn die Metallröhre aufgesetzt war. — Es ist zu bemerken, dafs bei der geringen Elektrisirung, welche die trockene Säule gewährte, die Wirkung des Schwammes nur durch eine Metallspitze von nicht zu erreichender Vollkommenheit hervorgebracht werden würde.

257 Die beschriebenen Versuche gelingen gleichfalls mit Baumwollendocht, der an der Stelle des Schwammes angewendet wird, aber mit Räucherkerzen geben sie nicht so reine Resultate, da der Rauch der Kerzen, wenn die Verbrennung heftig ist, die Elektricität in geringem Grade leitet. Um dem störenden Einflusse des Rauches zu entgehen, liefs ich Kerzen

Digitized by Google

von einem Zoll Länge verfertigen aus Kohlenpulver und wenig [257]
Salpeter, welche Stoffe mit Traganthschleim angerührt wurden. Diese Kerzen gaben keinen Rauch, und der vorhandene Dampf wurde dadurch unschädlich gemacht, dafs ich die Verbrennung von unten nach oben fortschreiten liefs. Die Kerze wurde nämlich an der oberen der beiden Metallscheiben befestigt, und ihre Spitze gegen die Mitte der unteren Scheibe gerichtet (Fig. 61.). Jede der beiden Scheiben war isolirt mit einem Elektroskope verbunden; die obere Scheibe wurde durch die trockene Säule elektrisirt, und der Stand der Elektroskope in Zwischenräumen von $\frac{1}{2}$ Minute beobachtet. Der Versuch gab folgende Divergenzen der Elektroskope:

	Verflossene Zeit.	Oberes Elektroskop mit Kerze.	Unteres Elektroskop.
Kerze frei brennend	0 Minute	12 Linien	$3\frac{1}{2}$ Linien
	$\frac{1}{2}$ -	3 -	$2\frac{1}{4}$ -
	1 -	1 -	$2\frac{1}{4}$ -
		entladen	$2\frac{1}{4}$ -
Neue Kerze in der Röhre (13 Lin. hoch 9 Lin. weit)	0 -	$12\frac{1}{2}$ -	0 -
	$\frac{1}{2}$ -	$11\frac{1}{2}$ -	0 -
	1 -	$10\frac{1}{2}$ -	0 -
	4 -	$8\frac{1}{2}$ -	0 -

Während also die Kerze freiglimmend in einer Minute fast alle empfangene Elektricität verlor, hatte sie noch nach 4 Minuten den gröfsten Theil davon behalten, wenn sie von einer leitenden Hülle umgeben war. Im ersten Falle elektrisirte sie eine nahe stehende Scheibe, und diese behielt ihre Ladung, als die Kerze eine Ableitung erhielt, im zweiten Falle trat keine Elektrisirung ein.

Ich änderte die Lage der Kohlenkerze, indem ich sie an [258]
einer vertical gestellten Scheibe horizontal befestigte, und ihr in 5 Zoll Entfernung die zweite Scheibe gleichfalls vertical gegenüberstellte (Fig. 62.). Folgende sind die Resultate eines dem obigen ähnlichen Versuches:

	Verflossene Zeit.	Elektroskop 1. mit Kerze.	Elektroskop 2.
Kerze frei	0 Min.	12 Lin.	
	$\frac{1}{4}$ -	$\frac{3}{4}$ -	2 Lin.

Digitized by Google

[258]

	Verflossene Zeit.	Elektroskop 1 mit Kerze.	Elektroskop 2.
Kerze in der Röhre	0 Min.	12 Lin.	
	½ -	11½ -	0
	1 -	10½ -	0
	2 -	9 -	0

Auch hier spricht sich die Wirkung der Hülle unzweideutig aus. Die Elektrisirung des Elektroskops 2 ist nicht bedeutend, weil sie erst in einiger Zeit eintritt, während welcher die momentan elektrisirte Kerze Elektricität verliert. Wünscht man stärkere Elektricitätszeichen, so hat man, falls nicht eine stärkere Elektrisirung der Kohle angewendet wird, dieselbe nur längere Zeit constant zu erhalten. Als die Kohlenkerze mit dem Pole der trockenen Säule verbunden blieb, stieg das Elektroskop der gegenüberstehenden Scheibe in wenigen Sekunden auf 5 Linien Divergenz, zeigte aber in mehreren Minuten keine Divergenz, als die Röhre auf die Kerze gesetzt war.

259 In den bisherigen Versuchen ist der Elektricitätsverlust einer glühenden Kohle, und die durch sie hervorgebrachte Elektrisirung eines genäherten Leiters aufgezeigt werden; in dem folgenden Versuche, der mit der Anordnung Fig. 62 ausgeführt wurde, ist hingegen die Elektrisirung der Kohle und der Elektricitätsverlust des elektrisirten Leiters untersucht worden.

	Verflossene Zeit.	Elektroskop 2.	Elektroskop 1 mit Kerze.
Kerze frei	0 Min.	12 Lin.	
	½ -	11¼ -	3½ Lin.
	1 -	11 -	3½ -
	1½ -	10½ -	3½ -
	2 -	10½ -	3½ -
	3 -	10 -	3½ -
		entladen	3½ -
Kerze in der Röhre	0 -	12 -	
	½ -	11⅓ -	0 -
	1 -	— -	0 -
	2 -	11 -	0 -
	3 -	10¾ -	0 -
Kerze frei	— -	— -	3 -

Während die frei brennende Kerze zu 3½ Linien Divergenz elektrisirt wurde, blieb sie, von der Röhre umgeben, völlig un-

Digitized by Google

elektrisch. Der Einfluſs, den die Kohle auf den Elektricitäts- [259]
verlust der nahestehenden Scheibe ausübte, ist nur gering, wie es nach der in dem folgenden Paragraphe gegebenen Erklärung sein muſs, da in der angewandten Entfernung die Kohle die Scheibe nicht stark elektrisiren konnte.

Aus allen mitgetheilten Versuchen folgt, daſs die ange- 260
wandten glimmenden Körper nicht durch die Producte der Verbrennung elektrisch wirken, sondern durch eine eigenthümliche Beschaffenheit ihrer Oberfläche. Nimmt man an, daſs diese Oberfläche mit sehr feinen Spitzen besetzt ist, so finden alle Wirkungen der glimmenden Körper in den vorgetragenen Erfahrungen über Spitzenwirkung ihre Erklärung. Daſs sehr kurze Spitzen, wenn sie sehr vollkommen sind, kräftig elektrisch wirken können, lehrt eine alte Erfahrung, nach welcher der vom Agaricus der Eiche verfertigte Zündschwamm unangezündet fähig ist, einem geladenen Leiter aus der Ferne Elektricität zu entziehen. Hier geht diese Wirkung von den sehr feinen, kaum sichtbaren Fäserchen aus, mit welchen die ganze Fläche des Schwammes bekleidet ist [1]). Die Bildung von Spitzen beim Verbrennen kohliger Stoffe ist so zu denken. An der Stelle der Oberfläche, wo die Masse verbrennt, entsteht eine Grube, deren Rand durch die gebildete Kohlensäure vor der Verbrennung geschützt bleibt. Wo mehrere dieser dicht an einander liegenden Gruben zusammentreffen, bleibt ein Höcker unverbrannter Masse stehen, daher eine ebene Fläche während der Verbrennung höckerig erscheint. Indem aber jeder Höcker, nachdem die heiſse Kohlensäure in die Höhe gestiegen und ein neuer Zufluſs von Sauerstoff erfolgt ist, von unten auf zu brennen anfängt, verschwindet er mehr und mehr, und es bleibt von ihm nur eine (sogleich wieder zerstörte) Spitze stehen. So wird der glimmende Körper mit einer Menge von entstehenden und wieder verschwindenden Spitzen bedeckt sein, die wir als ziemlich vollkommene Spitzen zu betrachten haben, und deren elektrische Wirkungen den früher aufgeführten Gesetzen gemäſs eintreten.

[1]) Gilbert Annalen.* 73. 127.

Digitized by Google

Elektrische Wirkungen flammender Körper.

261 Noch kräftiger, als die glimmenden, wirken auf dargebotene elektrisirte Körper die mit Flamme brennenden Stoffe, bei welchen die Wirkung nicht von der brennenden Oberfläche, sondern von den Producten der Verbrennung ausgeht, von der Dampf- und Gas-Säule, die über der Flamme steht. Eine Flamme wirkt also nur, wenn ihre Gas-Säule leitend ist, und dann ganz wie eine leitende Gassäule ohne Flamme. Der letztere Fall tritt z. B. bei der Davy'schen Glühlampe ein, die dadurch hergestellt wird, dafs man eine Spirale aus feinem Platindrahte auf den Docht einer Weingeistlampe stellt, diese anzündet und, wenn die Spirale ins Glühen gekommen ist, schnell auslöscht. Die Spirale glüht alsdann fort, zersetzt den Weingeist, und bleibt so lange glühend, als Weingeist vorhanden ist. Der Beweis, dafs nicht eine Flamme oder der glühende Platindrath selbst die elektrische Wirkung bedingt, sondern nur die dadurch erzeugte Gassäule, wird durch Aufsetzen einer Metallröhre auf den Docht geleistet, welches den elektrischen Erfolg nicht wesentlich ändert.

262 Ich befestigte neben einer isolirten mit Weingeist gefüllten Metalllampe von 8 Linien Höhe (Fig. 63.) eine verticale Kupferscheibe von 4 Zoll Durchmesser an einem isolirenden Stiele, so dafs die von der Dochtspitze der Lampe zu der Mitte der Scheibe gezogene Linie auf der Scheibe normal stand, und $3\frac{3}{4}$ Zoll mafs. Auf die Lampe war eine 13 Lin. hohe 9 Lin. weite Metallröhre gestellt, und die Scheibe mit einem Elektroskope verbunden. Als die Lampe angezündet und durch Berührung mit dem Pole einer trockenen Säule elektrisirt war, zeigte das Elektroskop der Scheibe sogleich 3 Linien Divergenz, und diese sank auf $2\frac{1}{2}$ Linien, als die Lampe durch einen Drath zur Erde vollkommen abgeleitet wurde. Als die Kupferscheibe elektrisirt worden war und die Lampe eine vollkommene Ableitung erhalten hatte, sank das Elektroskop langsam zusammen, blieb aber bei 3 Linien Divergenz stehen, und zeigte nach 2 Minuten noch $2\frac{1}{3}$ Linien. War die Lampe nicht angezündet, so sank das Elektroskop, nachdem es durch Berührung mit der trockenen Säule 13 Linien Divergenz erhalten

Digitized by Google

hatte, in 2 Minuten auf 12 Linien. Der erste Versuch wurde [262]
wiederholt, als eine 27 Linien hohe $9\frac{1}{2}$ Linien weite Metallröhre auf die Lampe gestellt war, und die verticale Platte wurde elektrisch, wie früher, nur in geringerer Stärke.

Die Wirkung der leitenden Dampf- und Gassäule läfst 263
sich auf eben die Weise aus den früher gegebenen Grundsätzen erklären, wie die der Spitzen (§. 245.). Eine elektrisirte Flamme verliert ihre Elektricität, indem durch die Gassäule die Luft elektrisirt und heftig abgestofsen wird. Tauchen wir einen Körper in diese abgestofsene Luft ein, so wird er durch Mittheilung elektrisch. Aber der Körper wird auch elektrisch, wenn er erweislich nicht von der elektrisirten Luft berührt werden kann, wenn z. B. die Flamme in einer hohen Röhre brennt und der Körper seitlich gestellt ist (§. 262.). Hier findet eine Influenzwirkung der elektrisirten Dampfsäule auf den Körper statt, und damit der Körper bleibend elektrisch werden könne, mufs Elektricität von ihm ausströmen. Dies wird möglich, wenn an der Begränzung der Dampfsäule Punkte von sehr grofser elektrischer Dichtigkeit vorhanden sind, die Säule also in feine Spitzen und Zacken ausläuft. Diese Dampfspitzen lassen sich nicht sichtbar machen, ihre Entstehung wird aber dadurch erklärlich, dafs die kalte Luft von allen Seiten in die leitende Dampfmasse eindringt, sie auseinanderreifst, und zuletzt gänzlich in sich aufnimmt. Betrachtet man hiernach die Flamme und ihre Dampfsäule als einen Leiter, der mit vielen vollkommenen Spitzen versehen ist, so lassen sich alle noch so auffallenden Wirkungen der Flamme mit Leichtigkeit aus den Spitzenwirkungen ableiten, wie dies beispielsweise in den folgenden Fällen geschieht.

Nähert man einer elektrisirten Flamme einen Leiter, aber 264
nur so weit, dafs er von ihren Dampffäden nicht erreicht werden kann, so wird der Leiter durch Influenz elektrisirt, und zwar erhalten seine der Flamme nächsten Punkte Influenzelektricität erster Art. Die elektrische Dichtigkeit dieser nächsten Punkte hängt ab von ihrer Entfernung von den Dampfspitzen und von der elektrischen Dichtigkeit der Spitzen. Aber auch bei einer bedeutenden Entfernung sind diese Punkte so stark elektrisch, dafs die daselbst angehäufte Elektricität ausströmt,

Digitized by Google

[264] und auf dem Leiter die Influenzelektricität zweiter Art zurückbleibt, die mit der Elektricität der Dampfspitzen gleichartig ist. Es tritt also ganz derselbe Erfolg ein, als wenn die der Flamme mitgetheilte Elektricität auf den Leiter übergegangen wäre. — Nähert man einen elektrisirten Leiter einer Flamme, so werden die Dampfspitzen der Flamme durch Influenz elektrisch, aber da die erhaltene Elektricität von ihnen fortwährend ausströmt, so bleibt der Flamme die Influenzelektricität zweiter Art, die mit der des genäherten Leiters gleichnamig ist. Zugleich aber wirken die elektrisirten ausströmenden Dampfspitzen, wie im vorigen Falle, und der Erfolg dieser Wirkung ist so, als ob die Elektricität der Spitzen zu der des genäherten Leiters hinzugetreten wäre. Da diese beiden Elektricitäten ungleichnamig sind, so nimmt die Elektricität des genäherten Leiters fortwährend ab. Aber dieser Verlust ist nicht unbegränzt. Die Stärke der Elektrisirung der Dampfspitzen hängt von der elektrischen Dichtigkeit des genäherten Leiters ab, und wenn diese unter eine gewisse Gränze gesunken ist, hört die Wirkung der Spitzen auf. Die Flamme entzieht daher einem genäherten Körper (er mag Leiter sein oder nicht) nur einen Theil seiner Elektricität, so lange ihre Dampfsäule ihn nicht wirklich erreicht, sondern nur durch Influenz auf ihn wirkt.

265 Nicht jeder brennende Körper wirkt elektrisch durch Dampfspitzen oder feste Spitzen, da hierzu erforderlich ist, dafs der Dampf die Elektricität leite, oder der brennende Stoff die Spitzenbildung erlaube. Ein Beispiel hiervon giebt der Schwefel. Der aufsteigende Schwefeldampf und die gebildete schweflige Säure leiten die Elektricität nicht, und da der Schwefel flüssig wird, ehe er verbrennt, so können an ihm keine Spitzen entstehen. Der in Masse brennende Schwefel hat nicht die elektrischen Eigenschaften der brennenden Körper. Ich stellte zwei Metallscheiben horizontal über einander, und brachte auf die untere Scheibe eine mit Schwefel angefüllte Kupferschale von 1 Quadratzoll Oberfläche. Als die ganze Schale mit flüssigem brennenden Schwefel angefüllt war, behielt die obere 2 Zoll entfernte Scheibe die ihr mitgetheilte Elektricität. Wurde aber mit einem Glasstabe ein Tropfen des brennenden Schwefels aus der Schale genommen, so entzog die Flamme der in einer Entfernung von 5 Zoll darüber liegenden Scheibe alle Elektricität.

Digitized by Google

Es war dies Folge des bei freiem Zutritte der Luft leitend ge- [265]
wordenen Dampfes, wie sich dadurch zeigte, dafs eine 3 Zoll lange Blechröhre, auf die Schwefelflamme gesetzt, die Wirkung der Flamme unverändert liefs.

Bei vielen Flammen tritt die Wirkung der Dampfspitzen 266
und die der Kohlenspitzen nach einander auf. Eine brennende Wachskerze zum Beispiel wirkt durch ihre Dampfspitzen; wird sie plötzlich ausgelöscht, so bleibt der Dampf einige Sekunden lang leitend und wirkt fort. Dann aber verliert er diese Eigenschaft, und der Docht, durch Zufluſs von Wachs getränkt, bleibt unwirksam, so dafs die rauchende Kerze keinen Einfluſs auf einen genäherten elektrisirten Körper ausübt. Hat aber der Zufluſs von Wachs aufgehört, so verglimmt der Docht, und die an ihm sich bildenden Kohlenspitzen werden auf kurze Zeit elektrisch wirksam.

Die brennenden Körper werden bei elektrischen Versuchen 267
zu doppeltem Zwecke gebraucht, wobei sie durch kein anderes Mittel zu ersetzen sind. Zuerst dienen sie einen Isolator unelektrisch zu machen, wozu wir sie bisher schon häufig angewendet haben. Wo es angeht, führt man dazu den Isolator schnell durch eine Weingeistflamme, oder hält ihn eine kurze Zeit über die Flamme. Eine ausgedehnte Fläche mufs in verschiedenen Lagen über die Flamme gebracht werden. Steht der Isolator fest, so führt man eine kleine Weingeistflamme um ihn herum, oder wo dies gefährlich sein sollte, die Spitze einer glimmenden Kohlenkerze. Aber diese aufserordentliche Wirkung der Verbrennung lehrt zugleich die Vorsicht, feine elektrische Versuche nicht in einem Zimmer anzustellen, wo sich glühende Kohlen oder eine Flamme befinden. Die andere nicht minder wichtige Anwendung der brennenden Körper ist §. 249 angedeutet worden. Eine feine Spitze erhöht die Empfindlichkeit eines Elektroskops für eine entfernte Elektricität, und ein brennender Körper statt der Spitze gebraucht, steigert diese Empfindlichkeit in dem Maafse, dafs häufig dadurch noch Elektricität angezeigt wird, die sonst gänzlich übersehen werden würde. Zu diesem Zwecke wird eine kleine Weingeistlampe, eine glimmende Räucherkerze oder ein Stück Zündschwamm auf dem Zuleiter des Elektroskops befestigt.

Digitized by Google

Störung der elektrischen Wirkung brennender Körper.

268 Es ist in den mitgetheilten Versuchen mit brennenden Körpern keine Rücksicht auf die Elektricitätsart genommen worden, mit der man elektrisirt hat, und in der That ist diese für den Erfolg gleichgültig, wenn man eine vollkommene Verbrennung anwendet, Schwamm und Kohle durch häufiges Blasen von Asche säubert, Weingeistlampe und Glühlampe nur bei heftiger Verbrennung gebraucht. Ohne diese Vorsicht tritt aber eine merkwürdige Verschiedenheit des Erfolges ein, je nach der angewandten Elektricitätsart, und man sieht einen bestimmten Versuch leichter und schlagender mit der einen als mit der anderen Elektricitätsart gelingen. Auf einer der beiden Scheiben, die vertical 5 Zoll von einander entfernt aufgestellt waren (Fig. 62.), wurde eine Kohlenkerze horizontal befestigt, die bis über die Hälfte in Glut und mit Asche bedeckt war; wurde an diese Scheibe der positive Pol einer trockenen Säule angelegt, so divergirte das mit der andern Scheibe verbundene Elektroskop nur langsam und mit höchstens 2 Linien, war hingegen der angelegte Pol der negative, so divergirte das Elektroskop schnell und mit mehr als 5 Linien. Im Gegensatze hiermit divergirte das mit der Kerze verbundene Elektroskop schneller und stärker, wenn die gegenüberstehende Scheibe positiv, als wenn sie negativ elektrisirt war. Es hatte, um einen kurzen Ausdruck zu gebrauchen, den Anschein, als ob die negative Elektricität aus der Kerze leichter hinausgehe als die positive, und die positive leichter hineintrete als die negative. Das Aufsetzen einer Röhre hob übrigens auch hier jede Wirkung der Kerze auf.

269 Um diese sonderbare Erscheinung zu erklären, habe ich aus einem späteren Kapitel anzuführen, dafs bei der Verbrennung eines Stoffes selbständig Elektricität erregt wird, und dafs namentlich bei Verbrennung kohliger Substanzen die aufsteigende Kohlensäure positiv elektrisch ist, die Substanz negativ zurückbleibt. Die auf der glühenden Kohle entstandenen Spitzen sind schon an sich negativ elektrisch, und müssen daher in den Versuchen des vorigen Paragraphs stärker elektrisch werden und kräftiger wirken, wenn ihnen negative, als wenn

Digitized by Google

ihnen positive Elektricität zugeführt wird. Bei heftiger Ver- [269]
brennung der Kohle läfst sich die Elektrisirung der Kohle nicht nachweisen, und daher fehlt auch der angegebene Unterschied ihrer Wirkung.

Die Kohle wirkt durch ihre negativ elektrischen Spitzen, 270
und nicht durch ihren positiv elektrischen Dampf. Wäre das Letztere der Fall, so würde, der aufgestellten Erklärung gemäfs, die Wirkung in Bezug auf die beiden Elektricitätsarten in umgekehrter Weise stattfinden. Eine solche Wirkung zeigt die Davy'sche Glühlampe (§. 261.), deren auffallende elektrische Wirkungen von P. Erman entdeckt worden sind[1]). An dieser Lampe geht die Wirkung allein von dem stark positiv elektrischen Dampfe aus, und es hat den Anschein, als ob die positive mitgetheilte Elektricität aus der Lampe leichter entweiche als die negative, und die negative leichter eintrete als die positive. Ich stellte eine messingene Glühlampe, deren Platinspirale schwach glühte, neben einer vertical stehenden Kupferscheibe auf, so dafs die Spirale 2 Zoll 2 Linien von der Scheibe entfernt war (Fig. 63.). Die 10 Linien hohe Lampe wurde mit einer 13 Linien hohen Metallröhre umgeben, und ich überzeugte mich, dafs die glühende Spirale von keinem Punkte der Scheibe aus gesehen werden konnte. Als die Lampe positiv elektrisirt war, divergirte das mit der Scheibe verbundene Elektroskop sogleich, und behielt seine Divergenz, nachdem die Lampe eine vollkommene Ableitung erhalten hatte; bei negativer Elektrisirung der Lampe trat nur eine geringe Divergenz des Elektroskops ein. Wurde hingegen die Scheibe negativ elektrisirt, so divergirte ein mit der Lampe verbundenes Elektroskop sogleich und wurde nur wenig bewegt, als der Scheibe positive Elektricität mitgetheilt worden war.

Es sind dies die nämlichen Erscheinungen, die oben an 271
der Kohlenkerze bemerkt wurden, nur mit dem Unterschiede, dafs die in jedem Falle angewandte Elektricitätsart die entgegengesetzte von der ist, die dort zu demselben Erfolge gebraucht wurde. Es folgt dies sogleich daraus, dafs bei der Glühlampe nicht die glühende Substanz (das Platin), sondern

[1]) Abhandl. d. Akad. d. Wissensch.* Berl. 1819.

Digitized by Google

[271] der aufsteigende Dampf die elektrische Wirkung bedingt, und es ist nur zu zeigen, dafs dieser Dampf wirklich selbständig positiv elektrisirt ist. Ich stellte die Glühlampe auf den Teller des Säulenelektroskops, dessen Polplatten 11 Linien von einander standen. Es machte sich sogleich negative Elektricität merkbar, und zwar in solcher Stärke, dafs von Sekunde zu Sekunde das Anschlagen des Goldblattes an die Polplatte durch Ableitung des Tellers verhindert werden mufste. Der aufsteigende Dampf der Lampe mufste daher positiv elektrisch sein. Die starke Entwickelung von Elektricität trat aber nur ein, wenn die Spirale in ihren oberen Windungen mäfsig glühte; liefs ich sie durch und durch weifsglühen, so war die Anzeige von Elektricität sehr schwach oder blieb gänzlich aus. Eine heftig glühende Spirale zeigt aber die Erscheinungen der Flamme ohne Störung (§. 261.).

Die Elektrisirmaschine.

272 Die Elektrisirmaschine ist eine mechanische Vorrichtung, eine Ansammlung von Elektricität auf einem Leiter dadurch zu bewirken, dafs ein Isolator in der Nähe des Leiters elektrisirt, und von dem letzteren die Influenzelektricität erster Art fortgeschafft wird (§. 233.). Der Apparat wurde erst allmälig zusammengesetzt nach einer langen Reihe von Versuchen, die an einem um eine Axe gedrehten, gegen die Hand geriebenen Isolator angestellt wurden. Historisch pflegt man schon diesen drehbar aufgestellten Isolator als Elektrisirmaschine anzusehen, während wir dem Namen die angegebene Bedeutung geben, da bei der wissenschaftlichen Betrachtung ein gegen die Hand sich reibender Isolator nicht verschieden ist von einem feststehenden Isolator, der mit der Hand gerieben wird. Aus gleichem Grunde werde ich eine Benutzung der Maschine, bei welcher ein Leiter durch directe Reibung elektrisirt wird (§. 277.), als nicht wesentliche ansehen.

Die Elektrisirmaschine besteht aus zwei von einander geschiedenen Haupttheilen: einem drehbaren Isolator mit einem feststehenden Reibzeuge, und einem isolirten Leiter (vorzugs-

Digitized by Google

weise Conductor genannt) mit einer Vorrichtung zur Fortschaf- [272]
fung der erregten Influenzelektricität.

Zum drehbaren Isolator der Maschine hat man verschiedene 273
Stoffe genommen: Schwefel, gedörrtes Holz, Seidenzeug, Wollenzeug, Schellack, Papier, Glas, und jeder Stoff hat einen eigenthümlichen Reiber und eine besondere Zusammenstellung des Apparates nöthig gemacht (§. 936.). Die hier genannten biegsamen Stoffe sind bald verlassen worden, weil sie hygroskopisch sind und nur in trockener Luft wirken; vielleicht wären noch biegsame Platten von Gutta percha zu versuchen, einem erst in neuerer Zeit entdeckten Stoffe, der diesen Fehler nicht besitzt. Am geeignetsten zu dem Zwecke hat sich bisher Glas bewährt, das in der Form einer Kugel, eines Cylinders oder einer Scheibe gebraucht worden ist, und dessen Aufstellung eine Menge von, häufig unwesentlichen, Aenderungen erfahren hat. Das Glas wird, mit einem Amalgam gerieben, jederzeit positiv, das Amalgam negativ elektrisch (§. 19.), man wendet daher bei den Elektrisirmaschinen gewöhnlich amalgamirte Reibzeuge an. Nach einigen allgemeinen Bemerkungen über die Glasmaschinen, werde ich deren nur wenige beschreiben, und verweise den Leser, der die grofse Zahl ausgeführter Elektrisirmaschinen kennen lernen will, auf Saxtorph Elektricitätslehre (deutsch v. Fangel, Kopenhagen 1803. Bd. 1.), worin sich dieselben ziemlich vollständig zusammengestellt finden.

Aus den Gesetzen der Influenzelektricität folgt, dafs der 274
Conductor einer Elektrisirmaschine in die Länge ausgedehnt sein mufs, damit die beiden Elektricitäten weit auseinandertreten können. Die gestreckte Form des Conductors erfüllt zugleich die zu einigen Versuchen nöthige Bedingung einer grofsen Dichtigkeit einzelner Stellen. Da zugleich ein Ausströmen der Elektricität erschwert werden soll, so ist eine von Ecken und Spitzen freie, abgerundete Oberfläche des Conductors nöthig. Wünscht man eine grofse Elektricitätsmenge, so mufs der Conductor eine grofse Oberfläche haben und erhält am besten die Form eines mit Halbkugeln geschlossenen Cylinders; ist eine grofse Dichtigkeit einer geringeren Menge genügend, so setzt man ihn aus einer Kugel und einem langen dünnen Cylinder zusammen. Er wird aus Metallblech oder

Digitized by Google

[274] aus einem andern Stoffe verfertigt, dessen Oberfläche mit Metallblättchen bedeckt ist, und möglichst vollkommen isolirt. Form und Dimensionen des Conductors werden durch den drehbaren Glaskörper und die ganze Zusammenstellung des Apparats häufig beschränkt, alsdann verlängert man ihn, wo es nöthig ist, durch einen angesetzten Leiter, der zuweilen der zweite Conductor genannt wird. Zu besonderen Zwecken ist die Länge des Conductors sehr weit getrieben worden. Volta hat einen Conductor von 96 Fufs Länge gebraucht, der aus zwölf versilberten Holzstäben von 8 Fufs Länge und 6 Linien Dicke bestand [1]), Wilson dazu einen Cylinder von 155 Fufs Länge, 16 Zoll Durchmesser benutzt, an den ein Drath von 4800 Fufs Länge angesetzt war [2]). Der letzte Conductor wurde in dem Pantheon in London aufgestellt.

275 Zur Erregung der Influenzelektricitäten im Conductor mufs ein Ende desselben der geriebenen Glasfläche sehr nahe stehen, und diese Nähe erfüllt zugleich die Bedingung, dafs die Influenzelektricität erster Art fortgeschafft werde. Wenn nämlich das Glas stark elektrisirt ist, so werden die ihm nächsten Punkte des Conductors Influenzelektricität von solcher Dichte erhalten, dafs ein Theil dieser Elektricität ausströmt. Aber viel vollkommener wird der doppelte Zweck erreicht, wenn man das Ende des Conductors mit Spitzen versieht, da diese eine gröfsere Erregung von Influenzelektricität bewirken, und zugleich die auf ihnen vorhandene Elektricität bei geringerer Menge ausströmen lassen (§. 245.). Das hier betrachtete Ende des Conductors, das der Form des Glaskörpers sich anpassen und nach dieser verschieden gestaltet sein mufs, wird *Einsauger* genannt.

276 Bei den Glasmaschinen läfst der Einsauger negative Elektricität ausströmen, die an die nahe Glasfläche tritt, und diese eines Theiles ihrer positiven Elektricität beraubt. Je vollkommener die Einsauger ihren Zweck erfüllen, desto gröfser ist die elektrische Ansammlung im Conductor, aber desto mehr

---

[1]) *Opuscul. scelti di Milano t. I. Collezione dell' opere di Volta.* I_1. 174.

[2]) *Philos. transactions v.* 68. *Cavallo complete treatise of electricity.* *Lond.* 1795. 2. 212.

Digitized by Google

Elektricität verliert auch die geriebene Glasfläche. Es mufs [276] daher die Glasfläche wiederholt gerieben werden, damit dem Einsauger längere Zeit hindurch eine elektrisirte Fläche vorbeigeführt werden kann. Hierdurch erhält der Conductor successiv immer mehr Elektricität, aber, wenn er isolirt bleibt, in fortwährend abnehmender Menge. Wie weit die Ansammlung auf dem Conductor gehen kann, ist §. 250 im Allgemeinen angegeben worden. Je mehr Elektricität der Conductor erhält, desto beschränkter ist die Erregung der negativen Elektricität auf dem Einsauger, und wenn dieser nicht mehr so stark elektrisirt wird, dafs eine Ausströmung von Elektricität erfolgt, so kann auch die Elektricität des Conductors nicht ferner zunehmen. Aber die Gränze der Elektrisirung tritt an der Maschine noch früher ein. Die ganze Oberfläche des Conductors verliert Elektricität durch Zerstreuung in die Luft; ist die zukommende Elektricitätsmenge so gering geworden, dafs sie jenen Verlust nur eben ersetzt, so bleibt der Conductor mit constanter Elektricitätsmenge geladen, die Drehung der Scheibe mag noch so lange fortgesetzt werden. Denselben Erfolg hat das Ausströmen der Elektricität des Conductors an irgend einem Punkte, das auch bei der sorgsamsten Abrundung des Conductors mit einer gewissen Elektricitätsmenge eintritt. Endlich aber kann dieser Verlust von positiver Elektricität selbst da stattfinden, wo sonst nur negative Elektricität ausströmt, an dem Einsauger nämlich. Denn da die Fortführung des elektrisirten Glaskörpers niemals mit der Geschwindigkeit geschieht, mit welcher er von dem Einsauger theilweise entladen wird, so steht den Spitzen des Einsaugers stets ein wenig elektrisirtes Glas nahe, und es tritt bei starker Anhäufung im Conductor wiederum positive Elektricität zurück an das Glas, oder geht sogar direct zum Reibzeuge über. Dies geschieht in noch höherem Grade, wenn man mit dem Drehen der Scheibe aufhört, und es sind daher einige Physiker veranlafst worden, die Spitzen an dem Einsauger fortzulassen. Dies führt aber den grofsen Nachtheil mit sich, dafs der Conductor langsamer und schwächer geladen wird, während der Nachtheil der Spitzen gröfstentheils dadurch beseitigt wird, dafs man das Drehen der Scheibe so lange fortsetzt, als man am Conductor experimentirt.

Digitized by Google

277 Das Glas wird durch Reibung gegen das amalgamirte Reibkissen positiv elektrisch, und dies erhält negative Elektricität; reibt man mit dem elektrisirten Kissen eine neue Glasfläche, so tritt an diese ein Theil der negativen Elektricität, und vermindert nothwendig die daselbst erregte positive Elektricität. Es mufs daher das Reibzeug der Elektrisirmaschine eine Ableitung erhalten, damit die fortwährend an ihm erregte negative Elektricität fortgeschafft werde. Diese Elektricität des Reibzeuges kann aber auch angesammelt werden, wodurch uns eine neue sehr nützliche Anwendung der Glasmaschine bekannt wird. Bei dem bisher beschriebenen Gebrauche der Maschine wurde positive Elektricität im Conductor angehäuft, und wir würden, um daselbst negative Elektricität zu erhalten, das Reibzeug ändern (Pelzwerk statt des amalgamirten Leders nehmen) oder an der Stelle des Glases einen andern Stoff benutzen müssen. Dies kann man vermeiden, wenn man die Elektricität des Reibzeuges anwendet, und kann von derselben Maschine, mit einer leichten Veränderung der Verbindung ihrer Theile, auch negative Elektricität erhalten. Es braucht nur die Ableitung des Reibzeugs und die Verbindung des Einsaugers mit dem Conductor aufgehoben, dagegen der Conductor mit dem Reibzeuge verbunden, und der Einsauger mit einer Ableitung versehen zu werden. Bei der Reibung der Glasscheibe geht dann die negative Elektricität des Reibers an den Conductor, die positive Elektricität hingegen der Scheibe wird aufgehoben durch den zur Erde abgeleiteten Einsauger. Es tritt daher während der Drehung der Scheibe fortwährend unelektrisches Glas an die Reibkissen, und negative Elektricität in den Conductor.

278 Bei dieser Anwendung der Elektrisirmaschine ist aber nicht zu übersehen, dafs sie auf einem wesentlich andern Principe beruht, als die zuerst beschriebene, die ich als die charakteristische Anwendung dieser Maschine hervorgehoben habe (§. 272.). Es ist hier nicht ein elektrisirter Isolator, der einen in die Nähe gestellten Leiter durch Influenz ladet, sondern einfach ein Leiter, der durch Reibung gegen einen Isolator elektrisch gemacht wird, und das künstliche, für die Betrachtung unwesentliche Verfahren hat nur den Zweck, die störende Elek-

Digitized by Google

tricität dieses Isolators fortzuschaffen, damit er ferner zur Rei- [278]
bung benutzt werden könne. Bei der secundären Anwendung der Elektrisirmaschine wird auf dem Conductor dadurch Elektricität angehäuft, daſs ein Stück desselben längere Zeit hindurch gerieben wird. Daſs hierdurch keine so groſse Ansammlung von Elektricität möglich sei, als bei dem primären Gebrauche der Maschine, ist leicht erklärlich. Der Conductor ist durch die an das Glas gepreſsten Reibkissen fortwährend in inniger Berührung mit nicht elektrisirtem Glase, er theilt diesem negative Elektricität mit, und kann von demselben nur so lange Elektricität durch Reibung erhalten, als diese mitgetheilte negative Elektricität von der am Glase erregten positiven an Menge übertroffen wird. Bei der primären Wirkung der Elektrisirmaschine (zur Anhäufung der positiven Elektricität) steht zwar der Conductor durch die Spitzen des Einsaugers auch in einer gewissermaſsen leitenden Verbindung mit der Glasscheibe, aber die Scheibe ist stets positiv elektrisch, und erschwert das Ausströmen der gleichartigen Elektricität des Conductors. Hiernach kann es nicht auffallen, daſs eine gut eingerichtete Elektrisirmaschine niemals beide Elektricitäten in gleicher Menge auf dem Conductor ansammelt, und daſs alle dahin gerichteten Bemühungen erfolglos geblieben sind.

Die Elektrisirmaschine liefert die Elektricitätsart des Reib- 279
zeugs stets in geringerer Menge, als die des Isolators, insofern die Ansammlung der letzteren möglichst vollkommen bewerkstelligt wird. Ist dies nicht der Fall, so kann die Anhäufung der beiden Elektricitäten, wie wir weiter unten sehen werden (§. 284.), in beinahe gleicher Stärke erlangt werden. Trotz der ungleichen Ansammlung ist es sehr nützlich, eine Elektrisirmaschine jederzeit zur Benutzung beider Elektricitäten einzurichten, da bei vielen und zwar den wichtigsten Versuchen, wo auſser dem Conductor ein anderer Ansammlungsapparat gebraucht wird, dadurch kein wesentlicher Nachtheil herbeigeführt wird. Bei Versuchen am einfachen Conductor werden wir stets den wesentlichen Unterschied in Betrachtung ziehen müssen, der zwischen der primären und secundären Benutzung der Maschine stattfindet. Nach diesen allgemeinen Bemerkungen will ich vier Glaselektrisirmaschinen beschreiben,

Digitized by Google

[279] von welchen die beiden ersten sich mir in langjährigem Gebrauche bewährt haben; zuletzt aber einige praktische Bemerkungen über einzelne Theile der Maschine beibringen.

280 Elektrisirmaschine mit Einem Reibzeuge (Fig. 64.). Auf einem festen Holzgestelle sind vier Glassäulen mit Holzfüfsen, die durch die Platten des Gestelles hindurchgehen, mittels vorgeschraubter Muttern befestigt. Die Oberfläche der 13 rheinländ. Zoll langen Glassäulen ist mit Bernsteinfirnifs überzogen. Von diesen dienen zwei diametral gestellte Säulen (die Hauptsäulen) als Stützen einer horizontalen Glasaxe, die einerseits durch einen in einem Loche laufenden Stahlstift verlängert ist, andererseits einen cylindrischen Stahlfortsatz hat, der in einer Pfanne ruht, und an dessen Ende eine Kurbel angesetzt ist. Auf diese Axe ist eine in der Mitte durchbohrte Spiegelglasscheibe von 24 Zoll Durchmesser geschoben und durch zwei runde durchbohrte Holzstücke festgeklemmt, welche zu diesem Zwecke in ihrer Bohrung eine weibliche Metallschraube besitzen, während auf der Glasaxe eine Metallhülse mit eingeschnittenem Schraubenzuge festgekittet ist. Das in der Abbildung vordere Stück der Axe mifst 16 Zoll, das hintere (der Kurbel nächste) 10 Zoll. Auf der vorderen Hauptsäule, über der Spitze der Axe, ruht der Conductor (Fig. 64*), ein Cylinder aus Messingblech, von nahe 8 Zoll Durchmesser, 24 Zoll Länge, der an jedem Ende mit einer Halbkugel von gleichem Durchmesser geschlossen, und durch eine $\frac{3}{4}$ Zoll dicke, $3\frac{1}{2}$ Zoll lange Messingröhre verlängert ist, die in eine Kugel von $2\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser endigt. Die Axe des Conductors liegt horizontal und der Glasscheibe parallel. Auf der hinteren Hauptsäule, der Kurbel zunächst, ist ein galgenförmiger aus Glasstäben zusammengesetzter Ständer aufgesetzt, dessen Ende, mit einer Holzschraube versehen, über dem oberen Rande der Glasscheibe steht, und dessen Zweck weiter unten angegeben ist. Jede der beiden anderen diametral gegenüberstehenden Glassäulen (Nebensäulen), trägt eine Messingkugel von $4\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser, an welcher respectiv Einsauger und Reibzeug befestigt ist. Der Einsauger besteht aus zwei, 7 Zoll langen $10\frac{1}{2}$ Linien dicken, Messingcylindern, die mit Kugeln geschlossen, mit je sechs, 3 Linien langen, Spitzen besetzt sind, und

Digitized by Google

die Glasscheibe von beiden Seiten, in einer Länge von $5\frac{1}{2}$ Zoll, [280] begränzen. Zur Aufnahme des Reibzeugs ist an der Kugel der andern Nebensäule eine, 1 Zoll breite, gabelförmige Messingfeder festgeschraubt, deren Zinken 6 Zoll lang sind, an ihren Enden einen Einschnitt von 1 Zoll haben, und durch einen an der Biegung der Feder quer durchgehenden Stift mittels aufgeschraubter Kugel einander genähert werden können. Die beiden Reibkissen, die durch diese Zinken gegen die Flächen der Glasscheibe gedrückt werden, haben folgende Einrichtung (Fig. 64ª). In die eine Fläche einer an den Kanten abgerundeten Holzplatte von $7\frac{1}{2}$ Zoll Länge, $2\frac{1}{4}$ Zoll Breite, ist ein Metallstreifen eingelassen, an dem eine Schraubenspindel gelöthet ist, die durch die Platte hindurchgeht, und 1 Zoll über ihrer äufseren Fläche vorsteht. Auf die innere Fläche der Holzplatte ist Flanell in mehreren Lagen gelegt, darüber ein Stück weichen Schafleders geleimt, das mit Amalgam eingerieben die Reibfläche bildet. An der langen Seite des Kissens ist ein Stück Wachstaft, 2 Zoll breit, an das Leder geleimt und durch eine Glimmertafel gleicher Gröfse straff gehalten, so dafs die Reibfläche und der Wachstaft in einer Ebene liegen. Die Befestigung der Kissen geschieht sehr leicht, indem die hervorragende Schraubenspindel in den Einschnitt der Metallfeder gebracht, und daselbst durch eine vorgeschraubte Kugel angeklemmt wird. Damit das Reibkissen sich nicht verschiebe, sind an eine seiner schmalen Kanten zwei kurze Stifte so eingeschlagen, dafs sie den Querstab eng umfassen, durch den die Messingfeder zusammengedrückt wird.

Es hat sich für die Wirkung der Elektrisirmaschine vor- 281
theilhaft erwiesen, wenn die Glasfläche, die zwischen Einsauger und Reibzeug liegt, mit einem isolirenden Zeuge bedeckt bleibt. Hierzu dient an der beschriebenen Maschine ein doppelt gelegtes Stück von isolirendem (nicht klebenden) Wachstaft, das an einem Glasstabe befestigt wird. Ein Holzansatz dieses Stabes wird an das Ende des oben beschriebenen galgenförmigen Aufsatzes durch eine Schraube festgeklemmt, so dafs der Glasstab horizontal über der Scheibe zu liegen kommt. Bei später verfertigten Exemplaren dieser Maschine hat man den Aufsatz fortgelassen, und die Taftblätter zwischen einem Holzreifen aus-

Digitized by Google

[281] gespannt, der an den beiden Nebensäulen befestigt wurde. Hierdurch wird der untere Theil der Glasscheibe von dem Tafte bedeckt, und um die bequeme Drehung der Glasscheibe von Links nach Rechts beizubehalten, mufste die Lage von Einsauger und Reibzeug an den Nebensäulen vertauscht werden. — Nach der bisherigen Beschreibung stehen Conductor, Reibzeug und Einsauger von einander getrennt, und es sind noch die Stücke zu erwähnen, durch welche diese Theile unter einander oder mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt werden. An jeder der Kugeln der Nebensäulen ist ein nach Aufsen stehender cylindrischer Zapfen gelöthet, um den sich ein 19 Zoll langer Metallstab (Röhre) an einer Hülse dreht, die durch eine auf den Zapfen geschraubte $2\frac{1}{2}$zöllige Kugel geklemmt wird. An dem Holzgestelle der Maschine ist ein Metalldrath mit löffelförmigen Enden horizontal befestigt, der eine vollkommene Ableitung zur Erde erhält. Die Länge der beiden drehbaren Stäbe ist so gewählt, dafs die Kugeln, mit welchen sie endigen, das Ende des Conductors und das Ende der Ableitung erreichen. Wünscht man positive Elektricität im Conductor, so bringt man den Stab des Einsaugers mit dem Conductor, und den Stab des Reibzeuges mit der Ableitung in Berührung; bei entgegengesetzter Lage der Stäbe (die die Abbildung zeigt), wird negative Elektricität im Conductor angehäuft.

282 Diese Maschine erlaubt, die Art der angesammelten Elektricität sehr schnell zu ändern, und gewährt eine momentane starke Anhäufung der Elektricität im Conductor. Die Form des Conductors und die Stellung von Reibzeug und Einsauger im Durchmesser der Scheibe tragen hierzu wesentlich bei. Sie ist aufserdem einfach, leicht zu construiren, und ich glaube dafs sie selbst in geringeren, als den angegebenen, Dimensionen ausgeführt, gute Dienste thun wird. Die gröfste Dichtigkeit der Elektricität findet man an dem freien Ende des Conductors (das nicht vom Verbindungsstabe berührt wird), welche aber, wie in §. 278 erläutert wurde, bei positiver Elektricität viel gröfser ist, als bei negativer. An meiner Maschine verhalten sich diese gröfsten Dichtigkeiten für die beiden Elektricitätsarten wie 10 zu $5\frac{1}{4}$; sie werden durch eine oder zwei Umdrehungen der Scheibe erreicht, und die folgenden Drehungen

Digitized by Google

dienen nur zur Erhaltung dieser Dichtigkeit. Die Maschine [282]
eignet sich vorzüglich zu Versuchen am Conductor selbst, indefs die folgende Maschine zu dem Zwecke construirt ist, eine grofse Elektricitätsmenge in einem an den Conductor angesetzten Apparate zu erhalten.

Elektrisirmaschine mit zwei Reibzeugen (Fig. 65.). 283
Die vier Säulen sind von gleicher Länge und Stellung wie bei der vorigen Maschine, nur ist die hintere Hauptsäule (der Kurbel nächste) aus Holz. Die Glasaxe mifst 22 Zoll (rheinl.), und die Scheibe von 30 Zoll Durchmesser ist in ihrer Mitte befestigt. Die Nebensäulen tragen Messingkugeln von 5 Zoll Durchmesser, und an beiden befinden sich Reibzeuge. Die Messingfeder ist nicht unverrückbar an der Kugel befestigt, sondern umschliefst mit einem Ringe einen an der Kugel vorspringenden Kragen, in dessen Mittelpunkte sie drehbar angeschraubt ist. Die Feder kann sich daher mit harter Reibung um eine horizontale Axe drehen, und die daran befestigten Reibkissen der Glasscheibe genau anpassen. Jedes einzelne Reibkissen ist 8 Zoll lang, 2 breit, von der im §. 280 angegebenen Einrichtung und greift, wie dort, mit einer vorspringenden Schraubenspindel in einen Schlitz der Messingfeder. Jedes Reibkissen hat seinen besonderen Taftflügel, der zwischen einer bogenförmigen und einer geraden Holzleiste ausgespannt ist, mit der geraden Leiste an der Kante des Kissens anliegt, mit einer eingeschnittenen Platte um die vorragende Schraubenspindel greift, und zugleich mit dem Kissen an die Messingfeder geklemmt wird. Die Flügel werden an jedes Reibzeug in der Drehungsrichtung der Scheibe angesetzt, so dafs sie bei dem einen Reibzeuge nach oben, bei dem andern nach unten zu stehen kommen. Der Conductor besteht aus einer Messingkugel von $5\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser, an den ein 27 Zoll langer $\frac{1}{3}$ Zoll dicker, um einen Zapfen drehbarer, cylindrischer Arm angesetzt ist. Dieser Arm, gewöhnlich fast horizontal liegend, ist mit einem Kugelgelenke versehen, durch welches er aufwärts gedreht werden kann (s. die Figur). An Kugel und Fassung des Conductors, über und unter der Axe der Scheibe, sind die Arme der beiden Einsauger befestigt, welche in cylindrischen Zapfen endigen. Auf jeden dieser Zapfen werden zwei

Digitized by Google

[283] Metallcylinder von 8 Zoll Länge aufgesteckt und angeklemmt, die mit 13 Spitzen versehen sind, und die Glasscheibe zwischen sich hindurchlassen. An den Kugeln der beiden Reibzeuge sind Messingröhren von 29 Zoll Länge angebracht, die um Zapfen, die vor den Kugeln vorstehen, gedreht werden können. In jede Messingröhre ist eine zweite Röhre verschiebbar gesteckt, deren Ende durch eine seitlich durchbohrte Kugel gebildet wird. Die Zapfen sind gegen die Ebene der Glasscheibe geneigt, so dafs die Enden der beiden Röhren, wenn diese horizontal aufgerichtet werden, näher zusammentreten. Auf dem Ableitungsstabe liegend (wie in der Figur), sind die Enden 30 Zoll von einander entfernt, horizontal aufgerichtet, nur 15 Zoll; in der letzten Lage werden die Röhren ausgezogen, bis sich ihre Endkugeln berühren, und diese durch einen Stift mit einander verbunden; sie bilden so den Conductor zur Aufnahme der negativen Elektricität. Wenn dieser gebraucht wird, mufs der Arm des positiven Conductors nach unten gedreht werden, so dafs er die Ableitung berührt. — Diese Maschine liefert eine grofse Elektricitätsmenge, weil die ganze Oberfläche der Scheibe bei jeder Umdrehung ihrer Axe zweimal gerieben wird, und die langen Einsauger eine Wirkung der ganzen geriebenen Fläche veranlassen. Beide Umstände stehen aber einer starken elektrischen Ansammlung auf dem Conductor selbst entgegen, weil die Enden der Einsauger der Axe der Scheibe und den Reibkissen näher stehen, als bei der Maschine mit Einem Reibzeuge.

284 Van Marum's Elektrisirmaschine [1]) (Fig. 66.). Ich will von dieser Maschine, die sich häufig ausgeführt findet, nur die Theile beschreiben, durch welche sie sich von den vorigen wesentlich unterscheidet, und übergehe die Einrichtung der Reibzeuge und Flügel, da mir die schon beschriebene vorzüglicher zu sein scheint, und auch hier angewendet werden kann. Die Glasscheibe dieser Maschine ist an dem Ende einer Axe befestigt, deren frei stehender Theil aus isolirendem Stoffe besteht (gedörrtem Holze oder Glas) während der auf einer

[1]) v. Marum Beschreibung einer grofsen Elektrisirmaschine. 2te Forts.* Leipz. 1798. 62.

Digitized by Google

langen Pfanne ruhende Theil aus Stahl verfertigt, und hinter [284]
der Pfanne dicht an der Kurbel mit einem Bleigewichte beschwert ist, um die Scheibe im Gleichgewichte zu halten. Die Kugeln, sowol die der beiden Reibzeuge als die des Conductors, stehen auf Glassäulen, sind aber nicht unmittelbar an diesem, sondern an birnförmigen Stücken getrockneten Mahagoniholzes befestigt, wodurch das Ausströmen von Elektricität über die Oberfläche des Glases vermindert werden soll. Die Kugel des Conductors ist horizontal durchbohrt, und läfst einen drehbaren Zapfen durch sich hindurch, an den eine gegen die Glasscheibe gekehrte halbkreisförmige Metallröhre gelöthet ist. An beiden Enden dieses Halbkreises sind kurze, mit einem Zapfen versehene, Metallcylinder aufgesteckt, deren Seiten der Glasscheibe sehr nahe gebracht werden können, und als Einsauger dienen. Ein ganz gleicher, mit Einsaugern versehener, halbkreisförmiger Arm ist der andern Fläche der Glasscheibe zugekehrt, der um einen hohlen, an der Pfanne der Scheibenaxe befestigten, Zapfen gedreht werden kann. Die Pfanne selbst, und daher auch der mit ihr verbundene Einsauger, ist zur Erde vollkommen abgeleitet. Steht nun der Einsaugerarm des Conductors vertical (wie in der Figur), der der Pfanne horizontal, und letzterer dadurch mit beiden Reibzeugen in Berührung, so wird der Conductor mit der Elektricität der Scheibe gleichnamig, also positiv geladen. Wird hingegen der Arm des Conductors mit den Reibzeugen in Berührung gesetzt, der der Pfanne vertical gestellt, so nimmt der Conductor die Elektricität der Reibzeuge auf, wird also negativ elektrisch, während die Elektricität der Scheibe zum Theil entfernt wird. Soll die negative Elektricität auf einem besonderen Conductor angehäuft werden, so kann man, nach v. Marums Vorschlag, die beiden Kugeln der Reibzeuge durch einen über der Scheibe liegenden Metallbogen verbinden, und den Einsaugerarm der Pfanne entbehren. — Die Eigenthümlichkeit, dafs hier das Glas zwar auf beiden Flächen gerieben, aber nur auf einer Fläche mit einem Einsauger versehen ist, der noch dazu keine Spitzen besitzt, hat zur Folge, dafs beide Elektricitäten in ziemlich gleicher Stärke erhalten werden, was durch eine Schwächung der Ansammlung positiver Elektricität erreicht wird.

Digitized by Google

285 Die Cylindermaschine (Fig. 67.). Diese sehr einfache Maschine ist zuerst von Nairne in London beschrieben worden [1]). Ein hohler Glascylinder, an der inneren Fläche mit einem isolirenden Firnifs bekleidet, wird mittels Schnur und Rad um eine horizontale Axe gedreht. Zu jeder Seite des Cylinders steht mit ihm in gleicher Höhe und Lage ein Messingconductor auf einem Glasfufse. An dem Conductor *A* ist das Reibzeug befestigt, eine schmale etwas vertiefte Holzleiste mit Haaren gepolstert und mit Leder überzogen, von dem ein Taftlappen bis zu dem am andern Conductor *B* befestigten Einsauger reicht, der aus einem mit Spitzen besetzten Metallstreifen besteht. Jeder der beiden Conductoren kann mittels einer am Fufsbrette befestigten Führschraube dem Glascylinder genähert werden. Wird der Cylinder in Bewegung gesetzt, so erhält *A* negative, *B* positive Elektricität, die auf jedem Conductor successiv in bedeutender Menge angesammelt werden kann, wenn man dem andern Conductor eine vollkommene Ableitung zur Erde giebt. — Die Cylindermaschine wird jetzt nur in kleinen Dimensionen angefertigt, indem man zu grofsen kräftigen Maschinen fast ausschliefslich Glasscheiben anwendet. Theils sind die grofsen fehlerfreien Cylinder sehr kostbar, theils ist man von ihrer Anwendung durch Fälle abgeschreckt worden, in welchen solche Cylinder ohne merkliche äufsere Veranlassung auf gefährliche Weise zersprungen sind.

Einzelne Theile der Elektrisirmaschine.

286 Die Beschreibung der Maschinen ist hier von den Einzelnheiten frei gehalten worden, die weder ein wissenschaftliches Interesse, noch dem Mechaniker einen Vortheil gewähren. Auch die gewissenhafteste Nachbildung der einzelnen Stücke einer guten Elektrisirmaschine verbürgt nicht eine gleiche Wirksamkeit der neuen Maschine. Eine jede Elektrisirmaschine ist ein Instrument für sich, das zwar mit genauer Kenntnifs der Bestimmung seiner Theile angefertigt werden mufs, das aber

[1]) *Cavallo treatise of electr.* 1. 165.

Digitized by Google

immer eine eigene Untersuchung und Nachbesserung verlangt, [286]
wenn die mögliche Vollkommenheit erreicht werden soll. Weit wichtiger als die Angabe aller Stifte und Schrauben einer kräftigen Maschine, sind die Erfahrungen, die über die zweckmäfsigste Beschaffenheit der einzelnen Theile der Maschine gemacht worden sind.

Das Glas. Nicht jedes Glas eignet sich zum Haupt- 287
körper der Elektrisirmaschine, da sowol seine Erregung kräftig, als die Leitung an seiner Oberfläche gering sein soll. Wir haben gesehen, dafs die weichen Gläser leiten und die harten ebenfalls, die erst vor Kurzem gefertigt worden, oder deren Oberfläche matt gerieben ist (§. 25.). Zu Cylindern rühmt man das englische ins Grünliche spielende Flintglas, zu Scheiben mufs man geschliffene Spiegelgläser nehmen, da die Stellung des Reibzeugs eine möglichst gleiche Dicke der Scheibe voraussetzt. Nicht das im durchgehenden Lichte vollkommen klare Spiegelglas ist hier das brauchbarste, sondern das mit kleinen glänzenden Pünktchen (Kieselsäure) versehene. Die beigemischten Metalloxyde, welche dem Glase eine blaue, grüne, schwarze Färbung ertheilen, sollen keinen nachtheiligen Einfluſs auf das Isolationsvermögen desselben äufsern [1]), wohl aber das Mangan, durch welches das Glas eine violette Färbung erhält [2]), welches um so mehr zu merken ist, da ein solches Glas gewöhnlich sehr hart ist. Nicht allein die neuen geblasenen Gläser wirken schlecht, und werden erst brauchbar, wenn von ihnen die Glashaut abgerieben ist [3]), sondern auch die neuen gegossenen und geschliffenen Spiegelscheiben sind häufig leitend, und verlieren diese schädliche Eigenschaft erst durch den Gebrauch in der Elektrisirmaschine. Scheiben, die lange unbenutzt gestanden haben, erhalten ihre frühere Brauchbarkeit durch Abwaschen mit Alcohol und starkes Abreiben mit warmen Leinentüchern. — Alle Erfahrungen lehren, dafs nur in den seltensten Fällen die Masse des Glases selbst die Elektricität leitet, und dafs gewöhnlich die hygroskopische Beschaf-

---

[1]) Schweigger Journal d. Chemie.* 2. 85.

[2]) Saxtorph Elektricitätslehre.* 1. 141.

[3]) *Priestley history of electr.** 585.

Digitized by Google

[287] fenheit der Oberfläche, oder die in längerer Zeit auf ihr aus der Atmosphäre niedergeschlagene Feuchtigkeit, die Leitung bedingt. Eine jede Glasmaschine läfst sich durch Temperaturerhöhung wirksam machen, hat aber, wenn sie nur unter dieser Bedingung wirkt, vor den einfacheren und weniger kostbaren Zeugmaschinen Nichts voraus.

288 Eine Elektrisirscheibe wirkt unter sonst gleichen Umständen um so kräftiger, je dünner sie ist, wovon sich der Grund leicht angeben läfst. Das Glas wird, wie wir später sehen werden, bis zu einiger Tiefe elektrisch, die beiden geriebenen Flächen einer Elektrisirscheibe stellen also zwei einander gegenüberstehende, mit gleicher Elektricitätsart versehene, Scheiben von geringer Dicke dar. Nach den Gesetzen der elektrischen Anordnung werden die von einander abgewandten Flächen dieser Scheiben eine desto gröfsere elektrische Dichtigkeit besitzen, je näher sie einander stehen, je geringer also die Dicke der Elektrisirscheibe ist. Bei gröfserer Dichtigkeit müssen aber auch die Einsauger stärker ausströmen, und der Conductor wird daher eine gröfsere Elektricitätsmenge zurückbehalten. Ich besitze eine vortreffliche Elektrisirscheibe, deren Glasdicke kaum $1\frac{1}{2}$ par. Linie beträgt, und dünnere Scheiben anzuwenden dürfte, ihrer Zerbrechlichkeit wegen, nicht rathsam sein.

Die Glasaxe und die Glassäulen an der Maschine müssen so lang genommen werden, als es ohne Gefahr geschehen kann, und einen Ueberzug aus geschmolzenem Schellack oder Bernsteinfirnifs erhalten. Bei der Verbindung der Glas- und Metalltheile sind alle Ecken oder scharfen Ränder zu vermeiden. Soll diese Verbindung nicht unverrückbar sein, wie z. B. an den Kugeln der Reibzeuge, so kann man sich einer Schraube aus isolirendem Stoffe bedienen, die leicht folgendermafsen gebildet wird. Man kittet einen Streifen Gutta percha um den Glasstab, erwärmt die Metallkugel bis 60° R., und schraubt dieselbe langsam auf den Stab; es wird so in die erweichte Gutta eine männliche Schraube geschnitten, die nach dem Erkalten die nöthige Festigkeit und Dauerhaftigkeit erhält.

289 Die Einsauger. Wenn an einer Fläche der Glasscheibe ein Einsauger angebracht ist, und nur diese Fläche gerieben wird, so erhält der Conductor bei jeder Umdrehung der Scheibe

Digitized by Google

nur wenig Elektricität, weil die elektrische Dichtigkeit der ge- [289]
riebenen Fläche nach dem Einsauger hin viel geringer ist, als wenn auch die andere Fläche gleichartig elektrisch wäre. Wird hingegen die Scheibe auf beiden Flächen gerieben, so wirkt der einseitige Einsauger viel stärker, und man erhält mehr als die Hälfte der Elektricität im Conductor, die daselbst von einem doppelten Einsauger angehäuft wird. Auch hiervon ist der Grund einleuchtend. Bei dem doppelten Einsauger nimmt die elektrische Dichtigkeit jeder Fläche der Glasscheibe aus zwiefachem Grunde ab, einmal dadurch dafs sie selbst, und dann dadurch dafs die zweite Fläche Elektricität verliert; bei dem einseitigen Einsauger fällt der zweite Grund fort, und die Dichtigkeit der dem Einsauger zunächst stehenden Fläche wird langsamer abnehmen, also länger wirken können. Dieser Umstand ersetzt indefs die unmittelbare Wirkung des zweiten Einsaugers nicht, und eine Maschine mit doppeltem Einsauger wirkt bei Ansammlung der Elektricität des Isolators (der positiven) stets bedeutend stärker, als eine mit einseitigem. Weniger merklich ist dieser Vorzug des doppelten Einsaugers bei der Ansammlung der Elektricität des Reibzeugs (der negativen), weil die nicht entladene Fläche der Scheibe nur Elektricität von geringer Dichtigkeit besitzt, und ohne Abgabe dieser Elektricität das Reibzeug aufs Neue elektrisiren kann. Doch gilt dies nur, wenn die Elektricität allein im Conductor angehäuft wird, wozu wenige Umdrehungen der Scheibe genügen; soll Elektricität in gröfserer Menge in einem zugesetzten Apparate angesammelt werden, so zeigt sich der Vorzug des doppelten Einsaugers bei positiver wie bei negativer Elektrisirung.

Nicht zu jedem Zwecke ist dieselbe Entfernung des Ein- 290
saugers von der Scheibe gleich nützlich; soll am Conductor eine grofse Dichtigkeit erzielt werden, so steht der Einsauger am besten in gröfster Nähe der Scheibe, wünscht man hingegen eine grofse Menge von Elektricität, die successiv weiter geleitet wird, so ist eine gröfsere Entfernung nützlich. Auch läfst sich die passendste Entfernung für jeden Fall nicht von vorn herein bestimmen, da sie durch die Beschaffenheit der angewandten Glasscheibe bedingt wird. Es ist daher bequem, die Einsauger der Scheibe beliebig nähern zu können, wozu Oertling fol-

Digitized by Google

[290] gende Einrichtung angewendet hat (Fig. 68.). Der Einsaugerarm endigt in eine gezogene Messingröhre *aa*, in welche der Einsauger *B* mit einem langen cylindrischen Zapfen greift. Auf die Röhre ist die horizontal durchbohrte Kugel *A* des andern Einsaugers *C* geschoben, und der Einsauger selbst in die Kugel so geschraubt, dafs das Ende der Schraube die Messingröhre an den in ihr befindlichen Zapfen klemmt. Wird der Einsauger *C* zurückgeschraubt, so kann man ihn auf der Röhre, den Zapfen des Einsaugers *B* in der Röhre beliebig verschieben, und dann wieder, durch Anziehen der Schraube, unverrückbar befestigen.

291 Das Reibzeug. Zur vollkommenen Elektrisirung der Glasscheibe ist gute Ableitung des Reibkissens zur Erde, und starke Reibung desselben gegen die Scheibe nöthig. Die Ableitung mufs ganz vollkommen sein, und man überzeugt sich leicht, dafs bei unvollkommener Ableitung oder gar Isolirung des Reibzeugs die Scheibe nur schwach elektrisirt wird. Anders ist es mit der Reibung, ihre Vermehrung steigert nicht unbedingt die Elektrisirung. Es ist nämlich nicht zu übersehen, dafs das leitende Kissen dicht an der Scheibe anliegt und ihr Elektricität zu entziehen vermag. Nimmt man an der Maschine mit zwei Reibzeugen (§. 283.) die Einsauger ab, und isolirt das eine Reibzeug, so läfst es sich leicht durch Drehung der Scheibe positiv elektrisiren, wobei es also die Elektricität der Scheibe angenommen hat. Die Reibung kann zuerst durch die *Breite* des Kissens vermehrt werden. Hierbei wird die Erregung der Scheibe vergröfsert, aber zugleich auch die Berührungsfläche von Kissen und Scheibe, und damit der Verlust an Elektricität, und es kommt darauf an, welcher von diesen beiden für die Elektricitätsanhäufung im Conductor entgegengesetzten Erfolgen überwiegt. Es sind darüber verschiedene Angaben gemacht worden. Während v. Marum die nützliche Breite des Reibkissens zu 2 Zoll angiebt, hat sie neuerdings Rains auf $\frac{1}{4}$ Zoll beschränkt [1]), und Péclet gar die Unabhängigkeit der Erregung von der Breite des Kissens behauptet [2]). Letzterer kann nur gemeint haben, dafs die

[1]) *Silliman american journal of Science.* 49.93.

[2]) *Annales de Chimie et de phys.* 57.398.

Digitized by Google

kleinste von ihm gebrauchte Breite schon die gröfste Elektri- [291]
citätserregung gab, und eine fernere Vermehrung der Breite ebenso viel schadete wie nützte. Keine dieser Angaben ist allgemein gültig, jede ist bedingt durch die Beschaffenheit des angewandten Glases und die Anbringung des Reibzeugs. Eine gröfsere Breite als 2 Zoll würde indefs nicht anzurathen sein, damit die Drehung der Scheibe nicht übermäfsig erschwert werde. Theile der zum Reiben bestimmten Fläche, die nicht reiben, müssen natürlich gänzlich vermieden werden; sie sind schädlich, wenn sie an dem hinteren Rande des Kissens (wo die Scheibe das Kissen verläfst), und unnütz, wenn sie an dem vorderen Rande sich befinden.

Dasselbe, was von der *Breite* der Reibkissen gesagt ist, 292
gilt auch von dem *Drucke*, mit dem sie gegen die Glasscheibe gedrückt werden. Ein gröfserer Druck vermehrt die Reibung, und befördert dadurch die Elektricitätserregung, aber er macht zugleich die Berührung des Kissens und der Scheibe inniger, und erleichtert die Ableitung der erregten Elektricität. Bis zu einer bestimmten Gränze nützt eine Vermehrung des Druckes, darüber hinaus ist sie unnütz zur Erregung und schadet, indem sie die Drehung der Scheibe erschwert. Die Geschwindigkeit der Drehung ist zwar, wenn das Reibzeug vollkommen abgeleitet ist, zur Erregung der Scheibe gleichgültig, darf indefs nicht zu klein sein, wenn der Conductor selbst zu einer grofsen Dichtigkeit geladen werden soll, da hier der Verlust durch Zerstreuung und Ausströmung fortwährend ersetzt werden mufs. Bei den Cylindermaschinen mufs deshalb die Geschwindigkeit zu diesem Zwecke viel gröfser sein als bei den Scheiben, weil die erregte Elektricitätsmenge im Verhältnisse der in gleicher Zeit geriebenen Glasfläche steht. Ebenso darf bei zwei Reibzeugen an der Scheibenmaschine die Geschwindigkeit kleiner sein, als bei Einem Reibzeuge, weil dort bei jeder Umdrehung der Axe die ganze Scheibe zweimal gerieben wird.

Eine besondere Vorsicht ist auf die äufsere Gestaltung der 293
Reibzeuge zu verwenden; scharfe Spitzen und Kanten sind daran gänzlich zu vermeiden, da diese die Rolle eines Einsaugers spielen und die Elektricität der Scheibe vermindern wür-

Digitized by Google

[293] den. Die leitende Fläche des Kissens mufs eben sein und sich fest an das Glas anschliefsen, da zwischen Isolator und Leiter, die sich in einer ebenen Fläche berühren, die elektrische Mittheilung schwer eintritt. Die gröfste Gefahr einer Mittheilung ist an dem Rande des Kissens, an dem die Scheibe das Kissen verläfst, und deshalb ist daselbst der durch ein Glimmerblatt eben erhaltene Taftfortsatz angebracht (§. 280.). Eine Falte zwischen dem Leder des Kissens und dem Tafte, hat den Verlust eines grofsen Theiles der erregten Elektricität zur Folge. Den Zweck, den der Taft erfüllt, hat man dadurch zu erreichen gesucht, dafs man das Leder des Kissens selbst weiter fortführte, und es nur in einer gewissen Breite amalgamirte. Theils aber isolirt Leder niemals vollkommen, theils reibt sich das Amalgam leicht über die gezogene Gränze ein, und vereitelt den beabsichtigten Zweck. Bei den zu dem Reibzeuge hinzugesetzten Taftflügeln, welche die Scheibe bis nahe an den Einsaugern bedecken, ist keine besondere Vorsicht nöthig, wenn man sich überzeugt hat, dafs der Taft und die Holzleisten, zwischen welchen er ausgespannt ist, nicht leiten.

294 Um das Leder der Reibkissen leitend zu machen, hat man Musivgold (Schwefelzinn), Graphit und verschiedene Zinn- und Zink-Amalgame angewendet. Am wirksamsten sind die Amalgame, und zwar wendet man am besten das (in vielen Apotheken käufliche) Kienmayer'sche Amalgam an, das folgendermafsen bereitet wird [1]). Man schmelzt einen Theil Zinn mit einem Theile Zink zusammen, nimmt die Masse vom Feuer, und schüttet sie, nach Hinzusetzung von zwei Theilen Quecksilber, in eine hölzerne inwendig mit Kreide bestrichene Büchse. Die Büchse wird heftig geschüttelt, und das gebildete Amalgam, ehe es ganz erkaltet ist, in einen Mörser geschüttet, zu einem feinen Pulver gerieben, und in einer Glasflasche aufbewahrt. Vor der Anwendung mufs es wieder im Mörser gerieben werden, bis es die Form eines schwarzgrauen unfühlbaren Pulvers erhalten hat. Nach neuerer Angabe [2]) soll Pfister in Wien ein besseres Amalgam aus zwei Theilen Zinn, drei

[1]) Voigt Magazin für das Neueste.* 1789. VI$_3$. (Band 6 Stück 3). 106.
[2]) Peschel Lehrb. d. Phys.* Dresd. 1844. 779.

Digitized by Google

Zink und vier Quecksilber bereitet haben. Das mir von Pfi- [294]
ster gegebene Pulver enthielt nach der von Heintz angestellten Analyse

Zinn 22,82 Zink 21,38 Quecksilber 47,09 kohlens. Kalk 3,56

war also von Kienmayer's Amalgam nicht wesentlich verschieden.

Einige Brocken Cacaobutter werden in die Kissen einge- 295
rieben, dann streut man das Amalgam darauf, und reibt es mit einem Ballen aus geglättetem Leder fest, so dafs das Kissen eine matte, gleichförmig graue Oberfläche erhält. Die Wirkung eines gut amalgamirten Kissens dauert sehr lange, wenn man die Vorsicht gebraucht, es häufig von dem durch die Scheibe darauf angehäuften Staube zu säubern. Sehr nützlich sind Wülste von einem wolligen Zeuge, die an der freien Kante jedes Reibkissens befestigt, den Staub von der Scheibe entfernen, ehe diese mit dem Amalgam in Berührung kommt. Vor Aufbringung einer neuen Lage Amalgam mufs die Oberfläche des alten eben gemacht werden. Die Glasscheibe, welche durch das Amalgam beschmutzt worden, wird mit Schwefeläther oder Terpenthinöl gereinigt, bei Anwendung des letzten mit Alcohol sorgsam abgewaschen und trocken gerieben. — Zur Prüfung der Wirkung einer Elektrisirmaschine hat man auf die Elektricitätsmenge zu sehen, welche jene während einer Umdrehung der Scheibe liefert, wozu ich weiter unten (§. 385.) die Mittel angeben werde. Die Dichtigkeit einzelner Stellen des Conductors, durch welche die Schlagweite daselbst bestimmt wird (§. 670.), ist von geringer Wichtigkeit, da jene Dichtigkeit von Form und Gröfse des Conductors abhängt, und mit diesen leicht geändert werden kann.

Der Elektrophor.

Der Elektrophor besteht im Wesentlichen aus einem Leiter 296
und einem elektrisirten Isolator; der Leiter wird durch Influenz erregt, und von ihm die Influenzelektricität zweiter Art fortgeschafft (§. 233.). Diese Fortschaffung geschieht auf die einfache, schon früher angewandte Weise dadurch, dafs der Leiter

Digitized by Google

[296] ableitend berührt und dann isolirt wird. Entfernt man nun den Leiter von dem ihn erregenden Isolator, so behält er die Elektricität, welche der des Isolators entgegengesetzt ist, die sich auf ihm nach dem durch seine Form bedingten Gesetze anordnet. Ein weiterer Unterschied des Apparates von der Elektrisirmaschine besteht darin, dafs während bei der letzteren die Fortschaffung der Influenzelektricität vom Leiter zugleich die Entladung des Isolators herbeiführt, dies bei dem Elektrophore nicht der Fall ist. Der Isolator bleibt elektrisch und braucht nicht, wie bei der Elektrisirmaschine, wieder gerieben zu werden, um zu einem folgenden Versuche zu dienen. Aber dieser Vorzug würde von keinem wesentlichen Nutzen sein, wenn der Isolator seine Elektricität durch Zerstreuung in die Luft verlöre, und nach kurzer Zeit einer neuen Elektrisirung bedürfte. Es tritt indefs der merkwürdige Umstand ein, dafs der Isolator am Elektrophore seine Elektricität eine sehr lange Zeit behält. Besitzt er, wie gewöhnlich, die Plattenform, und bestehen die zugehörigen Leiter gleichfalls aus Platten, so sinkt der elektrisirte Isolator erst in vielen Monaten auf den geringen elektrischen Zustand herab, den ein alleinstehender Isolator in wenigen Stunden erreicht. Die Entdeckung dieses Umstandes darf nicht von der Erfindung des Elektrophors getrennt werden. Wilcke fand im Jahre 1762 bei Untersuchung der Influenzerscheinungen, dafs eine elektrisirte Glastafel die, an beiden Flächen der Tafel anliegenden, beweglichen Metallbelegungen viele Tage und Wochen hindurch durch Influenz zu elektrisiren vermöge [1]). Volta vertauschte 1775 die Glastafel mit einem Harzkuchen, liefs nur die eine Belegung beweglich [2]), und führte den Apparat mit vielem Pompe unter dem Namen Elettroforo perpetuo ein, als ein neues Mittel, sich Elektricität zu verschaffen, das allgemeine Bewunderung erregte, während Wilcke's Versuch unbeachtet geblieben war. Es ist der in der Geschichte der Erfindungen nicht selten vorkommende Fall, dafs der Eine das Verdienst hat, den Stuhl gezimmert, der Andere, gezeigt zu haben, wie man sich darauf setzt.

---

[1]) Abhandlungen d. schwed. Akad. 1762. Deutsch v. Kästner.* 271.

[2]) *Collezione dell' opere di Volta.** I$_1$. 105.

Digitized by Google

Die einfache und bequeme Form, die Volta dem Appa- 297
rate gegeben hat, ist in Fig. 69 im Durchschnitte abgebildet. *D* ist eine Metallscheibe mit einem wenige Linien hohen Rande (*piatto* Schüssel, auch *Form* genannt); *B* ist ein gegossener blasenfreier Harzkuchen mit ebener Oberfläche (*Kuchen* genannt); *A* eine am Rande abgerundete ebene Metallscheibe mit gläsernem Griffe (*scudo Schild*, auch Deckel oder Trommel genannt). Unter Basis versteht man Kuchen und Form zusammen. Bei dem Gebrauche ist die Form nicht isolirt; man elektrisirt die freie Fläche des Kuchens negativ, durch Peitschen mit einem langhaarigen Felle, setzt den Schild auf die Fläche, und berührt ihn ableitend. Hebt man darauf den Schild an seinem Handgriffe in die Höhe, so findet man ihn positiv elektrisch, und kann seine Elektricität einem andern Körper mittheilen. Durch Wiederholung dieser Operation kann positive Elektricität auf einem isolirten Leiter angehäuft werden, so lange der Schild demselben Elektricität abgiebt, und es die bei dem Conductor der Elektrisirmaschine angeführten Bedingungen gestatten (§. 276.). Volta hat von dieser Mittheilung eine sinnreiche Anwendung gemacht. Er brachte die Elektricität wiederholentlich an den aufliegenden Schild eines zweiten nicht elektrisirten Elektrophors (Fig. 70.), und machte dadurch sowol diesen Schild, als die darunter liegende Harzfläche stark positiv elektrisch. Wurde dieser zweite Elektrophor nun auf die vorhin beschriebene Weise benutzt, so gab sein Schild negative Elektricität, die wiederum gebraucht werden konnte, um die Harzfläche des ersten Apparates, die schon negativ war, stärker elektrisch zu machen. Die beiden Elektrophore konnten also, wenn sie nach langer Zeit in der Wirkung schwächer geworden waren, einander wechselseitig kräftigen, ohne dafs je eine neue Reibung eines von ihnen nöthig wurde.

Theorie des Elektrophors.

Die Wirkung des Elektrophors beruht auf denselben Grund- 298
sätzen, die wir §. 161 kennen gelernt haben. Es fand sich dort ein cylindrischer Stab, der von einer elektrisirten Kugel durch

Digitized by Google

[298] Influenz erregt wurde, so elektrisirt, dafs der nächste Theil des Cylinders mit der Kugel entgegengesetzte, der entfernteste mit ihr gleichnamige Elektricität zeigte. Beim Elektrophore theilt sich der Schild in zwei parallele entgegengesetzt elektrische Schichten, die in einem von Wilcke angegebenen Versuche leicht aufgezeigt werden können. Man verbinde durch seidene Schnüre zwei dünne Metallscheiben parallel übereinander, und befestige an der oberen einen gläsernen Handgriff (Fig. 71.). Diese Doppelscheibe gebrauche man als Schild eines Elektrophors; hebt man sie, ohne sie ableitend berührt zu haben, von dem geriebenen Kuchen auf, trennt also dadurch die Scheiben AB und CD, so findet sich die erstere positiv, die zweite negativ elektrisch und beide, wenn sie isolirt zusammengelegt werden, unelektrisch. Berührt man hingegen die auf dem Kuchen liegende Doppelscheibe ableitend, und hebt sie dann ab, so ist nur AB elektrisch, und zwar positiv elektrisch.

299 Viel zusammengesetzter als der Grund der Wirkung des Elektrophors, ist der seiner wesentlichen Eigenschaft, die einmal ihm gegebene Elektricität eine geraume Zeit hindurch zu bewahren (Tenacität). Dieser Grund liegt theils in dem elektrischen Verhalten des Kuchens selbst, theils in der elektrischen Anordnung auf seinen beiden Belegungen, dem Schilde und der Form. Wir wollen zuerst den Kuchen allein betrachten. Eine Fläche des scheibenförmigen Kuchens ist durch Reiben negativ elektrisirt worden; es möge diese Fläche, ohne Rücksicht auf ihre zufällige Lage, die *obere*, die ihr entgegenstehende nicht elektrisirte Fläche die *untere* heifsen. Da der Kuchen aus isolirendem Stoffe besteht, so theilt sich die Elektricität der oberen Fläche der unteren nicht mit, sondern sie wirkt auf diese durch Influenz; sie trennt die untere Fläche in zwei parallele entgegengesetzt elektrische Schichten, nämlich: in eine positive ihr zunächst, und in eine negative ihr am entferntesten liegende Schicht. An einem einzeln stehenden einseitig geriebenen Harzkuchen sind also drei Schichten vorhanden, eine negative auf der oberen Fläche, eine positive im Innern, und eine negative auf der unteren Fläche. Liegt die untere Fläche, wie bei dem Elektrophore, auf einer leitenden Scheibe, so geht die negative

Digitized by Google

Schicht der Fläche auf diese Scheibe über, und wir haben nur [299]
zwei Schichten an dem Kuchen: oben eine negativ, unten eine positiv elektrische Schicht. Aus den Versuchen über die elektrische Dichtigkeit an einem Punkte einer Metallscheibe, je nachdem diese allein steht oder eine gleiche, nicht isolirte Scheibe in ihrer Nähe hat (§. 318.), läfst sich entnehmen, dafs die beiden elektrischen Schichten des Kuchens da am dichtesten sein müssen, wo sie einander am nächsten stehen, also im Innern der Harzmasse selbst. Während bei einer allein stehenden Metallscheibe die Elektricität sich auf beide Flächen verbreitet, und an den äufseren Gränzen der Scheibe, die von der Luft bespült werden, am dichtesten ist, kehren an der einseitig elektrisirten Harzscheibe die entgegengesetzt elektrischen Schichten der beiden Flächen ihre am wenigsten dichten Seiten der Luft zu. Hierdurch wird der verhältnifsmäfsig geringe Elektricitätsverlust erklärlich, den die Harzscheibe durch Zerstreuung erleidet. Man sieht, dafs die isolirende Beschaffenheit des Elektrophorkuchens nicht genügend ist, diesen geringen Verlust zu bedingen, sondern dafs seine flache Gestalt dabei wesentlich mitwirkt. Eine allseitig elektrisirte Harzkugel erleidet nach Coulombs Versuchen (§. 98.) dieselbe Zerstreuung ihrer Elektricität, wie eine gleich grofse Metallkugel.

Die im vorigen Paragraphe angenommenen drei elektri- 300
schen Schichten eines Harzkuchens lassen sich durch den Versuch aufzeigen. Ich nahm eine Schellackscheibe, $4\frac{7}{8}$ Lin. dick, $5\frac{5}{6}$ Zoll im Durchmesser, hielt sie frei in der Luft, und rieb ihre obere Fläche mit Pelzwerk. An ein Säulenelektroskop gehalten, erwies sich diese Fläche negativ elektrisch, und ebenso die untere (nicht geriebene) Fläche. Lag hingegen die untere Fläche beim Reiben auf einer Metallplatte, so zeigte sich die obere Fläche negativ, die untere nicht elektrisch. Bei dem Anlegen der unteren Fläche an das Elektroskop, wirkte nämlich der positiven Elektricität dieser Fläche die zwar entferntere aber stärkere negative Elektricität der oberen Fläche entgegen. Wurde aber diese negative Elektricität durch Annähern der oberen Fläche an eine Flamme geschwächt, so gab sich sogleich die positive Elektricität der unteren Fläche am Instrumente zu erkennen, und dafür erschien jetzt die obere

Digitized by Google

[300] Fläche unelektrisch. Schwächte ich ferner die positive Elektricität durch eine Flamme, so erschien wieder, wie zu Anfange, die obere Fläche negativ, die untere Fläche unelektrisch. Nur durch länger fortgesetztes Bestreichen beider Flächen mit der Flamme kann daher ein elektrischer Harzkuchen unelektrisch gemacht werden. Diese Versuche geben ein leichtes Mittel, einen Elektrophor mit positivem Kuchen zu erhalten. Man legt nämlich den Kuchen in die gut abgeleitete Form, reibt ihn wie gewöhnlich, und kehrt ihn dann um. Setzt man nun den Schild auf die untere (jetzt oben liegende) Fläche des Kuchens, so hat man einen Elektrophor, dessen Schild *negative* Elektricität liefert, und daher mit dem gewöhnlichen Elektrophore in entgegengesetzter Weise wirkt.

301 Das Auftreten der Influenzelektricität an der unteren Fläche des Harzkuchens vermindert die Zerstreuung der erregten negativen Elektricität der oberen Fläche; aber diese Zerstreuung würde für den längeren Gebrauch des Elektrophors noch immer zu bedeutend sein, und mufs daher durch Auflegung des Schildes gehindert werden. Der Schild wirkt hierbei in zwiefacher Weise: einmal, indem er den Zutritt der Luft zum Kuchen beschränkt, ferner aber, indem die Elektricität des Schildes die darunter befindliche Luft aufser Stande setzt, die Zerstreuung zu bewirken. Zu diesem letzten Zwecke darf der Schild nicht isolirt sein, so dafs er an seiner unteren Fläche eine Schicht positiver Elektricität besitzt. Nun wissen wir, dafs die Zerstreuung durch wirklichen Uebergang der Elektricität eines Körpers an die Luft eintritt (§. 120.), und dafs ferner, damit dieser Uebergang erfolge, zuvor die Luft entgegengesetzt elektrisch sein mufs. An einem freiliegenden Harzkuchen erfolgt also die Zerstreuung dadurch, dafs die der Oberfläche des Kuchens nächsten Lufttheilchen durch Influenz positiv elektrisch geworden sind, und von der negativen Elektricität des Kuchens angezogen werden. Die Lufttheilchen, die sich an dem bedeckten Kuchen zwischen diesem und dem Schilde befinden, werden eine bei Weitem geringere Ladung annehmen, weil die positive Elektricität des Schildes die Luft durch Influenz negativ elektrisch macht. Es befindet sich also zwischen Kuchen und Schild eine Luftschicht, die bei geringer positiver

Digitized by Google

Ladung sich zwar zum Kuchen hinbewegt, aber die negative [301]
Elektricität desselben aufzunehmen und fortzuführen nicht im Stande ist. Hierzu trägt auch die vermehrte Dichtigkeit wesentlich bei, welche eine Luftschicht in der Nähe jedes festen Körpers annimmt, und die dadurch bedingte geringere Beweglichkeit der Luft.

An dem bedeckten Elektrophore ist ein Elektricitätsver- 302
lust durch Zerstreuung vermieden, aber man könnte glauben, dafs der Verlust durch directe Mittheilung erfolgen müfste, da die positiv elektrische Schicht des Schildes der negativen Schicht des Kuchens so nahe liegt. Eine solche Mittheilung aber, die bei zwei einander berührenden leitenden Platten unfehlbar eintreten würde, findet am Elektrophore, wo die eine Platte Leiter, die andere Isolator ist, nur in sehr beschränktem Maafse statt. Der Grund davon mufs in der Natur des Isolators gesucht werden, nach welcher der elektrische Zustand eines Punktes den der übrigen nicht unmittelbar ändert, in dem Umstande, dafs die elektrische Schicht des Isolators ihre gröfste Dichte im Innern der Masse besitzt, und endlich in der geringen elektrischen Dichte, welche der Schild besitzt, die sich nur gegen seinen Rand hin vermehrt. Wenn der Rand des Schildes wohl abgerundet, Schild und Kuchen von Ecken und Spitzen frei ist, so tritt die Mittheilung der Elektricitäten, und damit die Entladung des Kuchens erst nach langer Zeit ein, wofern die elektrische Dichtigkeit des Kuchens nicht gar zu bedeutend ist. Hat man den Kuchen sehr stark elektrisirt, so erfolgt in der That beim Aufsetzen des Schildes eine Mittheilung von Elektricität zwischen diesen beiden Theilen, die sich durch Knistern bemerklich macht, und die elektrische Schicht des Kuchens sogleich auf die geringere Dichte bringt, welche die Mittheilung ausschliefst.

Aus den bisherigen Erörterungen, welche die Tenacität 303
des Elektrophors zum Gegenstande hatten, läfst sich auch die elektrische Anordnung ableiten, die bei Wirksamkeit des Apparates auf den einzelnen Theilen eintritt. Durch den Versuch wird diese Anordnung gefunden, wenn man Form und Schild des Elektrophors isolirt, und mit einer Prüfungskugel berührt, die dann an ein Säulenelektroskop angelegt wird. — Es sei

Digitized by Google

[303] die Basis des Elektrophors isolirt; bei dem Reiben der Harzfläche erscheint die Form sogleich negativ. Es ist dies die auf der unteren Fläche des Kuchens erregte und auf die Form übergegangene Influenzelektricität. Leitet man diese Elektricität ab, so ist die Form unelektrisch, die untere Fläche des Kuchens positiv (§. 300.); wird der Schild aufgesetzt, so ändert sich der Zustand der Form nicht, weil die beiden durch Influenz hervorgerufenen entgegengesetzt elektrischen Schichten des Schildes sehr nahe bei einander liegen. Wird hingegen die negative Schicht des Schildes durch Ableitung entfernt, so wird die positive Schicht der unteren Fläche des Kuchens wirksam, und erregt in der Form beide Elektricitäten, die negative dem Kuchen zunächst, die positive entfernt davon. Die Form erscheint jetzt positiv; berührt man sie ableitend, so bleibt auf ihr nur die negative, den Kuchen berührende, Schicht übrig, die sogleich merkbar wird, wenn man den Schild abnimmt. Alsdann nämlich verliert die positive Schicht der unteren Fläche des Kuchens ihre Wirksamkeit auf die Form durch die entgegenwirkende Elektricität seiner oberen Fläche, und die negative Elektricität der Form, die früher auf die obere Fläche der Form beschränkt blieb, verbreitet sich jetzt auf die ganze Form, und kann abgeleitet werden. Hier wird zugleich der Nutzen der Form, und die Nothwendigkeit ihrer Ableitung klar. Die Form dient dazu, die positive Schicht der unteren Fläche des Kuchens bei dem ersten Reiben herzustellen, und bei der späteren Wirksamkeit des Elektrophors fortwährend zu erhalten, da ohne sie diese Schicht sich während des Aufliegens des Schildes in die Luft zerstreuen würde.

304 An einem mit isolirtem Schilde bedeckten Elektrophore ist die Form unelektrisch, der Schild mit beiden Elektricitäten versehen. Berührt man den Schild, so giebt er negative Elektricität, die Form positive Elektricität ab. Läfst man daher diese Berührung durch einen mit der Form verbundenen Leiter geschehen, so empfängt dieser Leiter negative Elektricität, die sich von oben nach unten, und positive die sich von unten nach oben fortpflanzt. Eine entgegengerichtete Bewegung der beiden Elektricitäten in einem Leiter wird mit dem Ausdrucke *elektrischer Strom* belegt, und bringt in dem Leiter eigenthüm-

Digitized by Google

liche Wirkungen hervor, die uns später beschäftigen werden. [304]
Ich erwähne hiervon nur die Erschütterung, die in den Fingern gefühlt wird, mit welchen man jene Verbindung zwischen Form und Schild herstellt. Die Erschütterung tritt natürlich nur dann ein, wenn man zuerst einen Finger an die Form anlegt, und danach mit einem andern Finger den Schild berührt, weil bei früherer Berührung des Schildes sich die positive Elektricität der Form sogleich in den Erdboden verlieren würde.

Ich habe bei Betrachtung des Spieles des Elektrophors, 305
um unnöthige Verwickelungen zu vermeiden, gänzlich von der Wirkung abgesehen, welche die elektrisirte obere Harzfläche auf die Form ausübt. In der That ist diese Wirkung unbedeutend, wenn die Form sehr dünn, und die positive Elektrisirung der unteren Fläche des Kuchens vollständig erfolgt ist, aber es ist wichtig darzuthun, dafs eine solche Wirkung wirklich statt hat, ja sogar bei anderer Gestaltung des Apparates, als der gewöhnlichen, sehr bedeutend werden kann. Ganz allgemein wird diese Wirkung durch folgenden Satz zugegeben: Man habe eine (z. B. negativ) elektrisirte Fläche, in ihrer Nähe eine durch Influenz von ihr erregte und abgeleitete, also positiv elektrische Fläche, so wird ein Leiter, der hinter der letzten Fläche steht, so dafs kein Punkt des Leiters durch eine in die Luft gezogene gerade Linie mit der negativen Fläche verbunden werden kann, dennoch von dieser Fläche erregt werden. Der Grund dieser Erregung ist einleuchtend. Nur an der Gränze der positiven Fläche ist die Wirkung dieser Fläche mit der Wirkung der negativen entfernteren Fläche genau im Gleichgewicht; entfernen wir uns von dieser Gränze, so nimmt die Entfernung von der positiven Fläche in einem gröfseren Verhältnisse zu, als die von der negativen, so dafs die Wirkung der letzteren überwiegen mufs. Die Stärke der Wirkung hängt von Gröfse und Gestalt beider Flächen ab, und von ihrer Entfernung von dem Leiter. Es wird dies durch die folgenden Beispiele deutlich werden. Faraday[1]) befestigte einen 7 Zoll langen Schellackcylinder von 0,9 Zoll Dicke vertical auf einem Holzfufse, und elektrisirte seine obere Hälfte

[1]) *Exper. researches.* al. 1224.

Digitized by Google

[305] negativ durch Reiben mit warmem Flanell. Auf die obere Fläche des Cylinders wurden Metallkörper (Kugeln, Halbkugeln, Scheiben) von mehr als 1 Zoll Durchmesser gelegt, und mit einer guten Ableitung versehen. Eine Prüfungskugel wurde an verschiedene Stellen dieser Körper, oder in einiger Höhe darüber gehalten, und dann in die Torsionswage gebracht, wo die empfangene Elektricitätsmenge durch Torsion gemessen wurde. Es zeigte sich an allen Stellen der angewandten Körper, und an Punkten über denselben *positive* Elektricität, zum Beweise, dafs trotz der gröfseren Nähe der positiven Elektricität der Metallkörper, die stärkere negative Elektricität des Schellacks influencirend gewirkt hatte.

306 Als eine volle Messinghalbkugel, die ebene Fläche nach oben gekehrt, auf den Schellackcylinder gelegt war (Fig. 72.), fanden sich folgende positive Elektricitätsmengen an den in der Figur bezeichneten Stellen:

i	*k*	*l*	*m*	*n*	*o*	*p*
112	108	65	35	87	105	98

Bei *n o p* mufste die Prüfungskugel ableitend berührt werden, während sie an den übrigen Stellen durch den Metallkörper selbst mit der Erde in Verbindung war. Man sieht, dafs die positive, von der Schellackfläche erregte Elektricität an Menge von dem Rande der Halbkugel zur Mitte abnahm, über der Mitte bis zu einer gewissen Höhe *o* zunahm, und dann wieder abnahm. Das Gesetz dieser elektrischen Anordnung ist von der Gestalt des Metallkörpers abhängig, der den Schellackcylinder deckt. Als Faraday statt der Halbkugel eine dünne Messingscheibe von 2 Zoll Durchmesser gebrauchte, erhielt die Prüfungskugel auf der Mitte der Scheibe keine Elektricität, wohl aber an ihrem Rande und in einiger Höhe über ihrer Mitte. Bei Anwendung einer ganzen Kugel (Fig. 73.) fand sich folgende Vertheilung der, von dem Schellackcylinder erregten, positiven Elektricität:

a	*b*	*c*	*d*	*e*
1000	149	270	512	130

Digitized by Google

Fechner hat diese Versuche in einer Weise wiederholt [1]), 307
welche sie näher mit dem Elektrophore verbindet. Zwei Metallscheiben von 9 Zoll 4 Linien Durchmesser wurden über einander horizontal aufgestellt, so dafs 1 Zoll zwischen ihnen frei blieb. Eine dieser Scheiben, wir wollen sie die obere sein lassen, wurde isolirt und elektrisirt (z. B. negativ), die untere hingegen dauernd mit dem Erdboden verbunden. Eine Prüfungsplatte wurde an verschiedene Stellen der Rückseite der unteren Platte angelegt, oder in einiger Entfernung unter sie gehalten, abgeleitet, und an einem Säulenelektroskope geprüft. Das Elektroskop zeigte stets *positive* Elektricität, zum Beweise der überwiegenden Wirkung der negativ elektrisirten oberen Platte. Diese Elektricität war nicht auf der abgeleiteten Platte selbst am stärksten, sondern in einiger Entfernung von ihr, und nahm in noch gröfserer Entfernung wieder ab. Als eine Prüfungsplatte von $3\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser angewendet wurde, war die gröfste Wirkung so stark, dafs damit ein Goldblattelektroskop zu mehreren Graden positiver Divergenz geladen werden konnte. In diesem Versuche können wir die obere (elektrisirte) Metallscheibe der oberen Fläche des geriebenen Elektrophorkuchens gleichsetzen, die untere Scheibe der unteren Fläche des Kuchens, und die Prüfungsplatte der Form des Elektrophors. Es ergiebt sich, dafs die Form nicht (wie wir oben angenommen haben) bei aufgehobenem Schilde gänzlich unelektrisch ist, sondern trotz der positiven Elektricität der unteren Fläche des Kuchens, eine überwiegende Einwirkung der negativen Elektricität der oberen Fläche erfährt, die indefs, wenn die Form sehr dünn ist, keine wesentliche Aenderung der früher angegebenen Erscheinungen hervorbringen wird. —

Anfertigung des Elektrophors.

Gröfse des Elektrophors. Die Gröfse, welche man 308
dem Elektrophore zu geben hat, richtet sich nach dem Gebrauche, zu dem man ihn bestimmt. Der Schild des Appa-

[1]) Poggend. Ann.* 51.327.

Digitized by Google

[308] rates *giebt* desto mehr Elektricität ab, je gröfser er und der darunter liegende Kuchen ist, weil die *Dichte* seiner Elektricität mit der Gröfse zunimmt, also die Menge derselben in einem gröfseren Verhältnisse zunimmt, als das der Flächen. Der Grund hiervon wird klar, wenn wir auf die theoretischen Resultate über die Anordnung der Elektricität auf Kugeln zurückgehen (§. 214.). Eine neutrale Kugel erhält durch Influenz einer elektrisirten eine desto dichtere Elektricität, je kleiner die Entfernung zwischen beiden ist im Verhältnisse zum Halbmesser der Kugeln. Ganz so verhält es sich mit zwei Scheiben. Eine Scheibe erhält durch Influenz einer andern eine desto dichtere Elektricität, je kleiner die Entfernung der Scheiben im Verhältnisse zum Halbmesser der Scheiben ist. Nun ist bei dem Elektrophore die Entfernung der beiden Scheiben, das heifst der elektrisirten Kuchenfläche und der unteren Fläche des Schildes überall dieselbe, da beide stets einander zur Berührung genähert werden. Diese Entfernung ist aber ersichtlich eine relativ desto kleinere, je gröfser die Scheiben sind, und der Schild eines grofsen Elektrophors mufs eine dichtere Elektricität erhalten, als der eines kleinen.

309 Es sind sehr grofse Elektrophore construirt worden. Lichtenberg besafs einen solchen [1]), dessen Kuchen 7 par. Fufs im Durchmesser hielt, $1\frac{1}{2}$ Zoll dick war, und 56 Pfund wog; der Schild war aus Zinn und hatte 6 Fufs Durchmesser. Eberle in Wien [2]) gofs einen Kuchen von 7 wien. Fufs $9\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser, und verfertigte den Schild aus einem Pappreifen von 7 Fufs Durchmesser, der mit Leinwand und dann mit Zinnfolie überzogen wurde. Um an diesen Elektrophoren den Schild von dem Kuchen zu trennen, wurden Seidenschnüre angewendet, die mittels eines Flaschenzuges in die Höhe gezogen wurden. Es ist sehr schwer, so grofse Kuchen eben zu verfertigen, und noch schwerer, den Schild mit der Kuchenfläche parallel aufzuziehen. Letzteres ist aber nöthig; denn wenn der Rand des Schildes sich an einer Stelle senkt, so wird die positive Elektricität dieser Stelle viel dichter, als an anderen Theilen, und

[1]) Magazin für das Neueste d. Physik.* I_2.35.
[2]) Heidmann Theorie d. Elektricität.* 1.53.

Digitized by Google

es erfolgt daselbst leicht ein Uebergang der Elektricität zum [309]
Kuchen, der nicht allein den Versuch für den Augenblick verdirbt, sondern ein neues Reiben des Kuchens nöthig macht. Man ist deshalb von den grofsen Elektrophoren zurückgekommen, und bedient sich jetzt ausschliefslich der Elektrisirmaschine, um bedeutende Elektricitätsmengen zu erhalten. Der gebräuchliche Elektrophor, dazu bestimmt, kleine Elektricitätsmengen eine lange Zeit hindurch zu liefern, hat einen Durchmesser von $\frac{1}{2}$ bis 1 Fufs.

Dicke des Kuchens. Aus den theoretischen Erörte- 310
rungen (§. 298 folg.) geht hervor, dafs eine grofse Dicke des Kuchens seiner Eigenschaft, die Elektricität lange zurückzuhalten, hinderlich ist. Es wurde nämlich verlangt, dafs die Dichte der beiden elektrischen Schichten des Kuchens nach Innen zu verhältnifsmäfsig grofs sei, und dies ist um so mehr der Fall, je näher die Schichten einander stehen, je dünner also der Kuchen ist. Einer zu geringen Dicke des Kuchens steht aber der Umstand entgegen, dafs ein dünner Harzkuchen durch Erschütterung leicht sternförmige Risse bekommt, und dafs auch das beste Harz in geringer Dicke leitet, also die Vereinigung der beiden entgegengesetzt elektrischen Schichten erleichtert. Eine Dicke des Kuchens von 2 bis 4 par. Linien scheint die passendste zu sein.

Masse des Kuchens. Von den vielen Recepten, die 311
für die Masse des Kuchens gegeben worden sind, will ich nur wenige anführen, da die Verhältnisse der einzelnen Substanzen bis zu einer gewissen Gränze gleichgültig sind. Die dichten und spröden Harze, Schellack, Kolophon, eignen sich am besten zum Kuchen, und der Zusatz von Wachs, Terpenthin dient nur dazu, das Springen der Masse zu verhüten. Volta[1]) brauchte 3 Theile Terpenthin, 2 Kolophon und 1 Wachs, welche Stoffe zusammen geschmelzt, und zuletzt mit Mennige versetzt wurden. Berzelius[2]) nahm 10 Theile Schellack, 3 Kolophon, 2 venetianischen Terpenthin, 2 Wachs, $\frac{1}{2}$ Pech. Böttger[3])

[1]) *Collezione dell' opere.* I$_1$. 109.
[2]) Lehrb. d. Chemie. 1825. 1. 88.
[3]) Materialien zu Versuchen. Frf. 1846. 53.

Digitized by Google

[311] empfiehlt 5 Theile Schellack, 3 Mastix, 2 Terpenthin, 1 Jeffery'schen Marineleim. Aus gleichen Theilen schwarzen Pechs und Kolophon lassen sich brauchbare wenig kostbare Kuchen verfertigen. In allen Fällen bringt man den am schwersten schmelzbaren Stoff zuerst in Fluſs, setzt die anderen Stoffe unter beständigem Umrühren hinzu, und erhält das Ganze einige Minuten in Fluſs. Die Masse wird sodann durch ein grobes Leinentuch hindurch, in die genau wagerecht gestellte erwärmte Form gegossen. Sodann wird ein erhitztes Eisenblech über den Kuchen, in der Entfernung von ungefähr 1 Linie gelegt, und der Kuchen dem Erkalten überlassen, der dadurch eine wagerechte spiegelnde Oberfläche erhält. Die letzte Operation wird auch angewendet, um einen alten Kuchen, dessen Oberfläche durch den Gebrauch verletzt worden, wieder in brauchbaren Zustand zu versetzen. Man hat gepreſste Kuchen empfohlen, die erhalten werden, indem man ein Stanniolblatt auf eine Spiegelplatte breitet, darauf einen Metallreifen setzt, die dickflüssige Kuchenmasse bis über den Rand des Reifens eingieſst, und mit einer durch Gewichte beschwerten Spiegelplatte deckt. Der erkaltete Kuchen wird dann in die Form eingepaſst. Ich habe keine Erfahrung darüber, ob die Mühe dieser Zubereitung durch gröſsere Wirksamkeit des Kuchens belohnt wird.

312 Der Schild wird an kleinen Elektrophoren aus ebenen, an den Rändern wohl abgerundeten Metallscheiben gefertigt, an gröſseren aus einem hohl gedrechselten Holzblocke, der mit Papier und zuletzt mit Stanniol bespannt wird (daher der Name Trommel statt Schild). Die Verbindung des Schildes mit der Form wird am bequemsten durch einen Stanniolstreifen bewirkt, der von der Form ausgeht, und dessen Ende auf dem Kuchen selbst befestigt ist. Wo die gröſste Wirkung des Elektrophors erreicht werden soll, der Schild daher mit dem Kuchen parallel abgehoben werden muſs, befestigt man drei Seidenschnüre an dem Rande, oder einen gefirniſsten Glasstab in der Mitte des Schildes. Genügt eine geringere Wirkung, so legt man den Glasstab dem Schilde parallel, läſst ihn über den Rand desselben einige Zolle fortgehen, und verbindet ihn mit einem Gelenke, um welches der Schild drehbar

Digitized by Google

ist, und so vom Kuchen entfernt wird. Diese Einrichtung giebt [312]
man dem Schilde an der besten aller Zündmaschinen, an welcher ein Strahl von Wasserstoffgas durch den elektrischen Funken entzündet wird (§. 604.). Ich besitze solche Maschinen, die ich bei fortwährendem Gebrauche seit mehr als zwanzig Jahren leicht im Stande gehalten habe, und deren Elektrophore ich erst ein- oder zweimal umzuschmelzen genöthigt gewesen bin.

Neuntes Kapitel.

Der künstliche Ansammlungsapparat.

Mit Hülfe der Elektrisirmaschine und des Elektrophors ha- 313
ben wir Elektricität auf einem Leiter (dem Conductor) angehäuft, und die Gränze der Anhäufung in den Verlusten gefunden, die der Conductor durch Zerstreuung und Ausströmung der Elektricität erfährt. War die elektrische Dichtigkeit an einem Punkte des Conductors so grofs geworden, dafs der durch Zerstreuung und Ausströmung verlorene Theil des angehäuften Elektricitätsquantum durch die in derselben Zeit vom Apparate gelieferte Elektricität nur gerade ersetzt wurde, so war eine weitere Ansammlung nicht möglich. Um diese Gränze der Ansammlung weiter hinauszurücken, blieb nichts übrig, als die Thätigkeit des Apparates zu verstärken, oder die elektrische Dichtigkeit jenes Punktes durch veränderte Form oder Gröfse des Conductors zu vermindern. Um ein Beispiel zu geben, man wird den Conductor, wenn er eine elliptische Form hat, in einen kugelförmigen verwandeln, und den Radius der Kugel so grofs als möglich nehmen, denn nach früheren Er-

Digitized by Google

[313] fahrungen findet sich bei derselben Elektricitätsmenge an einer Kugel kein Punkt von so grofser Dichtigkeit, wie ihn ein Ellipsoid gleicher Oberfläche besitzt, und ferner wird bei derselben Menge kein Punkt einer zweizölligen Kugel so elektrisch dicht sein, als ein Punkt einer einzölligen. Aber die Verstärkung der Thätigkeit der Elektricitätsquelle, wie die Veränderung von Form und Gröfse des Conductors, findet in der Ausführung bald ihre Gränze, und es ist nöthig, um die zu vielen Versuchen nöthige Elektricitätsmenge bereit zu halten, den einfachen Conductor zu einem eigenthümlichen Apparate einzurichten, den ich *Ansammlungsapparat* nennen will.

314 Die Bedingung, die der Ansammlungsapparat zu erfüllen hat, ist in dem Vorigen angedeutet worden. Es mufs dem Leiter desselben an einzelnen Punkten, welche, als der Leiter allein stand, eine zu grofse Dichtigkeit erlangt hatten, ohne Aenderung seiner Form oder Gröfse eine geringere Dichtigkeit gegeben werden. Die Anordnung auf dem Leiter mufs so geändert werden, dafs die Elektricität von den Punkten, an welchen Zerstreuung und Ausströmung leicht ist, auf andere übergeht, an welchen diese Verluste schwerer erfolgen. In der That habe ich eine solche Aenderung bereits factisch aufgezeigt, die an dem Kuchen des Elektrophors durch die Natur des Isolators zu Stande kam (§. 299.). Die negativ elektrische Schicht der oberen Fläche des Kuchens, die ihre gröfste Dichtigkeit nach oben kehrte, wurde durch die positiv elektrische Schicht der unteren Fläche so verschoben, dafs die gröfste Dichtigkeit der Schicht nach unten gekehrt, und die Schicht theilweise vor Zerstreuung bewahrt wurde. In ganz gleicher Weise können wir die Anordnung auf einem einfachen elektrisirten Conductor ändern, indem wir ihm einen ähnlichen, parallel gestellten, nicht isolirten Conductor nahe bringen, der durch Influenz eine Schicht entgegengesetzter Elektricität erhält. Beide Leiter müssen durch einen Isolator getrennt sein, der, gewöhnlich starr, den Ansammlungsapparat dem Elektrophore ähnlich macht. Der Zweck des Apparates wird, wie sich unten zeigen wird, durch diesen starren Isolator gefördert.

315 Der Ansammlungsapparat, auch *Condensator* im weiteren Sinne genannt, besteht aus zwei gleichen parallel gestellten

Digitized by Google

Leitern, und aus einem zwischen ihnen befindlichen Isolator, [315]
im einfachsten Falle also aus zwei Metallscheiben und einer sie trennenden Luftschicht. Die eine Metallscheibe ist isolirt, empfängt die Elektricität, die man ansammeln will, und wird *Collectorscheibe* genannt, die zweite ist zur Erde abgeleitet, wird durch die erste durch Influenz elektrisirt, und heifst *Condensatorscheibe.* Die Collectorscheibe trägt einen Drath zur Hinleitung der Elektricität; an dem Ende dieses Drathes befindet sich der Punkt, an dem die Ausströmung der Elektricität in die Luft am leichtesten erfolgt. Ich habe die Dichtigkeit dieses Punktes untersucht bei alleinstehender Scheibe, und wenn ihr die Condensatorscheibe gegenübergestellt ist [1]). Es fand sich die Dichtigkeit im letzteren Falle stets geringer, als im ersten, wie die folgenden Versuche lehren. Die Abnahme der Dichtigkeit hängt von der Entfernung der Scheiben, von ihrer Gröfse und Form ab, daher eine genaue Beschreibung des Apparates den Messungen vorangehen mufs.

Verminderung der Dichtigkeit an der Collectorscheibe durch Einflufs der Condensatorscheibe.

Zwei ebene Messingscheiben 81,6 par. Lin. im Durch- 316
messer, $\frac{17}{24}$ Lin. dick, mit abgerundeten Rändern, sind auf dem Mittelpunkte einer Fläche mit cylinderförmigen halbkugelig geschlossenen Fortsätzen von $14\frac{2}{8}$ Lin. Länge, $11\frac{7}{24}$ Lin. Dicke versehen (Fig. 74.). Diese Fortsätze sind in der Axe durchbohrt, so dafs darin ein Zuleitungsdrath mittels Klemmschraube befestigt werden kann, und haben winkelrecht auf ihrer Axe eine Höhlung, in welche ein 8 Zoll 2 Lin. langer, mit Schellack überzogener, Glasstab gekittet ist. Mit Hülfe dieser Glasstäbe und geeigneter Fufsstücke sind die Scheiben auf einem Brette winkelrecht aufgestellt. Die eine Scheibe, die als Condensatorscheibe dienen soll, steht auf einem Gelenke, durch das sie aus der verticalen Lage bis unter das Fufsbrett gedreht werden kann, die andere der ersten parallelen Scheibe,

[1]) Poggendorff Annalen.* 73. 367.

Digitized by Google

[316] die als Collectorscheibe benutzt wird, steht auf einem Schlitten, der sich auf einem horizontalen, mit einer Eintheilung versehenen Prisma bewegt, und daselbst durch ein, beliebig zu stellendes, Anschlagstück *a* in seiner Lage gehalten wird. Die freien Flächen der Scheiben konnten so in Berührung gebracht, und in ihrer Centrallinie von einander entfernt werden, sie bilden also einen Ansammlungsapparat, in welchem die isolirende Zwischenschicht aus Luft besteht. Auf die äufsere Fläche der Collectorscheibe wurde ein 101 Lin. langer Drath normal aufgesetzt, der in eine, durch Glas gestützte, Metallkugel von 7 Lin. Durchmesser endigte. An dem äufsersten Punkte dieser Kugel, dem Ende also des Zuleitungsdrathes der Collectorscheibe, wurde die elektrische Dichtigkeit gemessen. An den Fortsatz der Condensatorscheibe war ein horizontaler Messingdrath von 10 Zoll 11 Lin. Länge und $\frac{5}{6}$ Lin. Dicke angesetzt, der in eine kleine Kugel endigte, die durch einen Drath mit den Gasröhren des Hauses verbunden war. Bei dem Herunterschlagen dieser Scheibe durch das Gelenk ihres Fufses wurde ihre Wirkung auf die Collectorscheibe aufgehoben.

317 Die Messung geschah mit gepaarten Prüfungskugeln (§. 116.) von 1 Lin. Radius, die successiv in die Torsionswage gebracht wurden. Die eine Kugel war an den bezeichneten Punkt angelegt worden bei freistehender Collectorscheibe, die andere an denselben Punkt, nachdem die Condensatorscheibe der ersten in verschiedener Entfernung gegenüberstand. Es wird das Verhältnifs der zuerst gemessenen Dichtigkeit (der durch die Condensatorscheibe veränderten) zu der ursprünglichen angegeben.

Entfernung der Platten.	Prüfungskugel.	Zeitintervall.	Torsionen, beobacht.	Torsionen, berechn.	Verhältnifs der Dichtigkeit.	Mittel.
2 Linien	4		67°			
	3	3',7	369	400,8	0,167	
		2,5	349			
	3		55,5			
	4	3,1	293,5	314,3	0,179	0,173
		3,2	273,5			

Digitized by Google

Entfernung der Platten.	Prüfungs-kugel.	Zeit-intervall.	Torsionen, beobacht.	Torsionen, berechn.	Verhältnifs der Dichtigkeit.	Mittel. [317]
3 Linien	3		133°			
	4	3',9	524,5	557°,3	0,239	
		2,5	504,5			
	4		114			
	3	3,2	466	490,9	0,232	0,235
		2,7	446			
4 -	4		101			
	3	3,3	336,5	361,8	0,279	
		2,8	316,5			
	3		82,3			
	4	2,8	261,5	280,4	0,293	0,286
		3,2	241,5			
5 -	4		162			
	3	3,2	467	491	0,330	
		2,8	447			
	3		130			
	4	3,2	352	381,8	0,340	0,335
		2,3	332			
10 -	4		211,3			
	3	3,4	405,7	431,4	0,490	
		2,8	385,7			
	3		177			
	4	3,6	331	357,6	0,494	0,492
		2,9	311			
15 -	3		267			
	4	3	430,3	452,2	0,590	
		2,9	410,3			
	4		200			
	3	2,7	313,5	333,3	0,600	0,595
		2,9	293,5			
20 -	3		345			
	4	4,1	474	502,9	0,686	
		3	454			
	4		221,5			
	3	3	308,5	328,5	0,680	0,683
		3,2	288,5			
50 -	3		319,5			
	4	3,7	326,5	353	0,905	
		3	306,5			
	4		267,5			
	3	3	281,9	300,7	0,890	0,897
		3,4	261,9			

Das Ende des Zuleitungsdrathes der Collectorscheibe, das, 318
so lange die Scheibe allein steht, durch irgend welche mitgetheilte Elektricität die Dichtigkeit 1 erhält, nimmt hiernach durch Wirkung der in verschiedene Entfernungen gestellten Condensatorscheibe folgende geringere Dichtigkeiten an. Eine

Digitized by Google

[318] Entfernung, aus welcher die Condensatorscheibe nicht mehr wirkt, ist durch ∞ angedeutet.

Entfernung d. Scheiben.	Dichtigkeit.
∞	1
50 Linien	0,897
20	0,683
15	0,595
10	0,492
5	0,335
4	0,286
3	0,235
2	0,173

Aus diesen Zahlen läfst sich sogleich die Wirksamkeit des Apparates bei den verschiedenen Entfernungen der Condensatorscheibe entnehmen. Es habe die alleinstehende Collectorscheibe die Elektricitätsmenge E, und damit das Ende ihres Zuleitungsdrathes die Dichtigkeit D erhalten, die nicht vermehrt werden kann, ohne ein Ausströmen der Elektricität zu veranlassen. Durch Entgegensetzung der Condensatorplatte in 2 Lin. Entfernung, wird diese Dichtigkeit $0{,}173\,D$, die nun durch Hinzuführung von Elektricität bis D gesteigert werden darf. Nach früheren Erfahrungen verhalten sich die Elektricitätsmengen eines unveränderten Körpers wie die Dichtigkeiten eines Punktes desselben, die Collectorplatte wird also nun $\frac{1}{0{,}173}E$ aufnehmen können, oder 5,8 mal so viel als zuvor. Dies Verhältnifs, in welchem die Elektricitätsmenge der Collectorplatte vermehrt werden kann, heifst die *Verstärkungszahl* des Apparates, die durch den umgekehrten Werth der verminderten Dichtigkeit an dem zuerst ausströmenden Punkte der Collectorplatte gegeben wird.

319 Die folgenden Versuche zeigen, welchen Einfluſs die Länge des Zuleitungsdrathes der Collectorscheibe auf die Verstärkungszahlen hat. Der in §. 316 gebrauchte Zuleitungsdrath wurde entfernt, und durch einen $3\frac{1}{2}$ Linien langen Drath, mit einer $4\frac{5}{8}$ Linien dicken Kugel am Ende, ersetzt. Es wurden folgende Dichtigkeiten bei Wirkung der Condensatorplatte an dem äufsersten Ende der Kugel gefunden.

Digitized by Google

Entfernung der Scheiben.	Prüfungskugel.	Zeitintervall.	Torsionen, beobacht.	Torsionen, berechn.	Verhältnifs der Dichtigkeit.	Mittel. [319]
2 Linien	4		57°			
	3	3',9	349	374°,2	0,152	
		3,3	329			
	3		63,3			
	4	3,1	368,5	400,2	0,158	0,155
		2,1	348,5			
3 -	3		51,5			
	4	2,8	216	231,6	0,222	
		1,9	206			
	4		81,3			
	3	2,9	340	375	0,217	0,219
		1,8	320			
4 -	4		137,5			
	3	3	464,5	498,1	0,276	
		1,9	444,5			
	3		97			
	4	2,9	326,5	354,8	0,273	0,274
		2,2	306,5			
5 -	3		147			
	4	2,7	438,5	467,1	0,314	
		2	418,5			
	4		116,3			
	3	3,2	343	390	0,298	0,306
		1,5	323			
10 -	4		165			
	3	3,1	316	333,3	0,495	
		3,8	296			
	3		171			
	4	3,9	331	355,5	0,481	0,488
		3,4	311			
15 -	4		190,7			
	3	2,7	286,3	302,3	0,630	
		3,8	265,3			
	3		162,5			
	4	3,4	240,5	257,2	0,631	0,630
		4,4	220,5			
20 -	4		265			
	3	3,7	361	389,4	0,680	
		2,8	341			
	3		232			
	4	3,2	311	332,4	0,697	0,688
		3,2	291			
50 -	4		221			
	3	2,6	236	249,6	0,885	
		4,1	216			
	3		220,5			
	4	2,8	234	247	0,892	0,888
		4,6	214			

Digitized by Google

320 Man hat folgende Verminderungen der Dichtigkeit nach den Entfernungen der Scheiben.

Entfernung d. Scheiben.	Dichtigkeit.
∞	1
50 Linien	0,888
20	0,688
15	0,630
10	0,488
5	0,306
4	0,274
3	0,219
2	0,155

Während bei den gröfseren Entfernungen die Verhältnisse der Dichtigkeiten fast dieselben geblieben sind, wie bei dem langen Zuleitungsdrathe (§. 318.), sind sie bei den kleinen Entfernungen wesentlich geändert worden. Geht man von der kleinsten Entfernung aus, so sieht man, dafs hier wie dort die Dichtigkeiten in einem geringeren Verhältnisse zunehmen als die Entfernungen, und dies ist um so mehr der Fall, je gröfser die Entfernungen sind. Bei kleinen Entfernungen weichen die Dichtigkeiten nur wenig von dem Verhältnisse der Entfernungen ab, so dafs bei Ansammlungsapparaten mit geringer Entfernung der Scheiben die Verstärkungszahlen nahe im umgekehrten Verhältnisse der Entfernungen stehen.

321 Es ist bisher die Verminderung der Dichtigkeit an dem äufsersten Punkte des Zuleitungsdrathes der Collectorscheibe untersucht worden. Von dieser läfst sich keineswegs die Verminderung an anderen Punkten herleiten, wie die folgenden Messungen zeigen, welche sich auf einen Punkt beziehen, der auf der hinteren Fläche der Scheibe selbst, nahe dem Rande derselben liegt.

Entfernung der Scheiben.	Prüfungskugel.	Zeitintervall.	Torsionen, beobacht.	Torsionen, berechn.	Verhältnifs der Dichtigkeit.	Mittel.
2 Linien	4		97°			
	3	3',4	339	366°,1	0,265	
		2 ,7	319			
	3		77 ,5			
	4	3	283 ,5	304 ,3	0,255	0,260
		3 ,1	263 ,5			

Digitized by Google

Entfernung der Scheiben.	Prüfungskugel.	Zeitintervall.	Torsionen, beobacht.	Torsionen, berechn.	Verhältnifs der Dichtigkeit.	Mittel. [321]
3 Linien	4		97°,5			
	3	3',4	260 ,5	278°,3	0,350	
		4 ,1	240 ,5			
	3		83 ,5			
	4	3 ,6	230 ,8	250 ,5	0,333	0,341
		4	210 ,8			
4 -	4		157 ,5			
	3	3 ,4	361	393 ,5	0,400	
		2 ,6	341			
	3		126 ,4			
	4	3 ,4	285	298 ,3	0,423	0,412
		3 ,3	265			
5 -	3		173 ,8			
	4	3 ,6	354 ,5	385 ,6	0,450	
		2 ,5	331 ,5			
	4		126			
	3	2 ,7	251	267 ,1	0,471	0,460
		3 ,6	231			
10 -	3		220 ,5			
	4	4	328	357 ,1	0,617	
		3	308			
	4		231			
	3	3 ,6	349	374 ,6	0,616	0,617
		3	329			
15 -	3		162 ,5			
	4	3	206 ,5	220 ,7	0,736	
		4 ,6	186 ,5			
	4		203			
	3	3 ,4	262	279 ,4	0,726	0,731
		4 ,2	242			
20 -	3		193			
	4	3 ,2	217 ,5	233	0,828	
		4 ,5	197 ,5			
	4		189 ,5			
	3	3 ,3	214 ,2	228 ,8	0,828	0,828
		4 ,9	194 ,2			
50 -	3		214 ,5			
	4	2 ,7	212	224 ,2	0,956	
		4 ,8	192			
	4		294 ,2			
	3	3 ,2	297	317 ,7	0,926	0,941
		3 ,3	277			

Man hat also für den Rand der hinteren Fläche der Collectorscheibe folgende Dichtigkeiten:

Digitized by Google

[321]

Entfernung d. Scheiben.	Dichtigkeit.
∞	1
50 Linien	0,941
20	0,828
15	0,731
10	0,617
5	0,460
4	0,412
3	0,341
2	0,260

Die durch Condensation verminderten Dichtigkeiten sind durchweg gröfser, als die bei den früheren Versuchen, die Verstärkungszahlen also kleiner. Ein Ansammlungsapparat, der Elektricität an seinem Rande ausströmen läfst, kann weniger Elektricität halten, als wenn die Ausströmung an dem Ende seines Zuleitungsdrathes stattfindet.

322 Die beigebrachten Versuche zeigen, dafs an der äufseren Seite der Collectorscheibe, die von der Condensatorscheibe abgewendet ist, die elektrischen Dichtigkeiten durch Gegenstellung dieser Scheibe vermindert werden. Dies bedingt, da die Elektricitätsmenge der Collectorscheibe unverändert geblieben ist, eine Vermehrung der Dichtigkeiten an ihrer inneren Fläche. Aber an dieser Fläche ist, wie früher gezeigt worden (§. 301.), die Zerstreuung in die Luft geringer, als an anderen Stellen, und die Ausströmung der Elektricität ist erschwert durch die Ebene der Fläche und ihren abgerundeten Rand. Berührt diese Fläche einen festen Isolator, befindet sich also zwischen Collector- und Condensatorscheibe eine starre isolirende Platte, so ist die Ausströmung nach dieser Seite hin gänzlich abgeschnitten, so lange die Dichtigkeit der Elektricität nicht so grofs geworden ist, dafs sie diese Platte durchbricht. Wir gehen nun zu den Aenderungen der Verstärkungszahl des Ansammlungsapparates über, die durch andere Umstände, als die Entfernungen der Platten, bedingt werden.

323 Gröfse der Scheiben. Ein Ansammlungsapparat verträgt eine desto gröfsere Elektricitätsmenge, je gröfser er selbst ist, und zwar aus zwiefachem Grunde. Zuerst hängt die Dichtigkeit des Punktes der Collectorscheibe, an dem die Ausströmung stattfindet, von der mittleren Dichtigkeit der Scheibe ab,

Digitized by Google

die mit der Vergrößerung der Scheibe abnimmt. Ferner aber [323]
ist die Verminderung der Dichtigkeit dieses Punktes durch Einfluſs der Condensatorscheibe bedeutender, wenn die Größe der Scheiben zunimmt. Diese Verminderung nämlich nimmt zu, je kleiner die Entfernung der Scheiben im Verhältnisse zu ihrem Durchmesser wird. Bei gleicher Entfernung der Scheiben gehört also die größere Verstärkungszahl dem größeren Apparate. Ich theile die folgenden Messungen an einem kleinen Apparate mit, obgleich der Apparat nicht genau die Form des früher angewandten hatte; sie bestätigen das Gesagte in genügender Weise.

Der Ansammlungsapparat bestand, wie der groſse (§. 316.), 324
aus zwei vertical gestellten Messingscheiben, die zur Berührung gebracht und in ihrer Centrallinie von einander entfernt werden konnten. Nur stand die Condensatorscheibe unverrückbar fest, und die Glasstäbe waren nicht unmittelbar in die cylindrischen Fortsätze der Scheiben eingelassen, sondern mittels Messingfassungen an den Fortsätzen befestigt. Die Collectorscheibe muſste bei jedem Versuche von der Condensatorscheibe entfernt werden, was gewöhnlich nur bis $50\frac{1}{4}$ Linien geschehen konnte; ich überzeugte mich, daſs eine größere Entfernung die gemessenen Dichtigkeiten nicht mehr merklich änderte. Durchmesser der Scheiben: 52 Linien, Dicke $\frac{17}{24}$ Linien, Hülse der Glasstäbe $6\frac{1}{4}$ Linien lang und dick. Der cylindrische halbkugelig geschlossene Fortsatz der Collectorscheibe $11\frac{3}{4}$ Linien lang, $6\frac{5}{24}''$ dick. In dem Fortsatze der Condensatorscheibe war der starre 131 Linien lange Drath befestigt, der normal auf der Fläche der Scheibe stand, und dessen Ende zu den Gasröhren des Hauses abgeleitet war. Es wurde die Dichtigkeit des äuſsersten Punktes an dem Fortsatze der Collectorscheibe untersucht bei verschiedener Entfernung der Scheiben, die wegen der schnellen Zunahme der Dichtigkeit nur bis 15 Linien ausgedehnt wurde.

Digitized by Google

Entfernung der Scheiben.	Prüfungskugel.	Zeitintervall.	Torsionen, beobacht.	Torsionen, berechn.	Verhältnifs der Dichtigkeit.	Mittel.
2 Linien	3		74°			
	4	3′	293	315°,7	0,234	
		1′,4	283			
	4		58′,7			
	3	2′,5	234	254′,5	0,231	0,232
		1′,3	224			
3 -	3		86			
	4	2′,9	244	260′,5	0,330	
		3′,8	224			
	4		62			
	3	2′,1	176′,5	188′,2	0,329	0,330
		1′,9	166′,5			
4 -	4		120′,5			
	3	2′,9	277	304′,4	0,396	
		2′,3	257			
	3		95′,7			
	4	3′,1	223′,5	244′,7	0,391	0,393
		3′,2	203′,5			
5 -	4		88′,5			
	3	3′	188	200′,2	0,442	
		2′,6	178			
	3		79			
	4	2′,3	167	177′,6	0,444	0,443
		2′,3	157			
6 -	3		73			
	4	2′,4	141′,5	149′,7	0,501	
		3′,1	131′,5			
	4		55			
	3	3′,1	100′,5	111′,6	0,492	0,496
		3′,1	90′,5			
8 -	4		79			
	3	3′,1	121′,5	132′,4	0,596	
		3′,1	111′,5			
	3		71			
	4	2′,5	114	121′,3	0,585	0,590
		3′,7	104			
10 -	4		160			
	3	2′,1	221	229′,7	0,696	
		2′,5	211			
	3		131′,5			
	4	2′,8	182	193	0,681	0,688
		2′,7	172			
15 -	4		148			
	3	3′,2	180	192′,1	0,770	
		2′,8	170			
	3		119			
	4	3′,4	145	155′,1	0,767	0,768
		3′,6	135			

Digitized by Google

Vergleichen wir diese, an dem Fortsatze einer Collector- 326
scheibe von 52 Linien Durchmesser erhaltenen, Dichtigkeiten mit den an einem ähnlichen Punkte einer Scheibe von 81 Lin. früher ermittelten (§. 320.).

Entfernung d. Scheiben.	Dichtigkeit an d. kleinen Scheibe.	an d. grofsen Scheibe.
∞	1	1
15 Linien	0,768	0,630
10	0,688	0,488
8	0,590	
6	0,496	
5	0,443	0,306
4	0,393	0,274
3	0,330	0,219
2	0,232	0,155

Bei gleicher Entfernung der Scheiben sind die Dichtigkeiten am kleinen Apparate gröfser als am grofsen, so dafs der letztere gröfsere Verstärkungszahlen hat. Ein grofser Ansammlungsapparat nimmt also nicht allein darum mehr Elektricität auf, weil er mehr Flächeneinheiten hat, als ein kleinerer, sondern weil auch jede Flächeneinheit mehr Elektricität zu halten vermag. Bei den hier gebrauchten Apparaten z. B. verträgt der kleine bei 2 Linien Entfernung 4,3, der grofse 6,4 von der Elektricitätsmenge, welche jede Collectorscheibe allein halten kann. Wollte man daher zwei kleine Collectorscheiben so mit einander verbinden, dafs sie ohne Condensatorscheiben ebenso viel Elektricität aufnehmen können, wie eine grofse Scheibe, so würde die letztere mit Hülfe ihrer Condensatorscheibe doch $1\frac{1}{2}$mal soviel Elektricität halten können, als die beiden verbundenen Condensatoren. Dieser Vorzug der grofsen Condensatoren über die kleinen nimmt ab, je gröfser die Entfernungen der Scheiben werden, und verschwindet bei einer bedeutenden Entfernung.

Die Ableitung der Condensatorscheibe. Nicht 327
nur Stellung und Gröfse der Condensatorscheibe, auch die Lage des Ansatzes, durch welchen dieselbe mit der Erde verbunden wird, hat einen wesentlichen Einfluſs auf die Dichtigkeit der Collectorscheibe. Bei den folgenden Messungen war der Ableitungsdrath des kleinen Apparates, der früher (§. 324.)

Digitized by Google

[327] normal auf der Condensatorscheibe stand, derselben parallel gelegt, und blieb von ihr etwa 5 Linien entfernt.

Entfernung der Scheiben	∞	10‴	5‴	4‴	3‴	2‴
Dichtigkeit, parallele Ableitung	1	0,597	0,408	0,340	0,269	0,190
- normale Ableitung	1	0,688	0,443	0,393	0,330	0,232

Bei dem der Condensatorscheibe parallel liegenden Ableitungsdrathe ist für jede Entfernung eine geringere Dichtigkeit gefunden worden, als bei dem normal angebrachten, so dafs also bei der ersten Anordnung der Ableitung der Apparat eine gröfsere Ansammlung von Elektricität verträgt, als bei der letzteren. Die Verstärkungszahl bei 2 Linien Entfernung ist für die parallele Ableitung 5,2, für die normale 4,3, und dieser Unterschied würde bei geringeren Entfernungen der Scheiben noch bedeutender ausfallen.

Elektricitätsmenge der Condensatorscheibe nach der Entfernung der Scheiben.

327ª. Es sind bisher die Aenderungen der elektrischen Dichtigkeit auf der Collectorscheibe untersucht worden, welche die Wirksamkeit des Ansammlungsapparates unmittelbar bestimmen. Diese Aenderungen hangen nothwendig mit der Anordnung der Influenzelektricität auf der Condensatorscheibe zusammen. Aendert man die Entfernung beider Scheiben von einander, so wird nicht allein die Dichtigkeit der Influenzelektricität an einzelnen Punkten der Condensatorscheibe, sondern zugleich die *Menge* dieser Elektricität auf der ganzen Scheibe geändert, da diese Menge abhängt von dem Verhältnisse der Dimensionen der Scheiben zu ihrer Entfernung (§. 308.). Auf der Collectorscheibe bleibt die Elektricitätsmenge constant, weil jene isolirt ist. Die Abnahme der Menge von Influenzelektricität auf der Condensatorscheibe nach der Entfernung der Scheiben hat zwar nur ein theoretisches Interesse, das bisher zu keiner einfachen Verbindung beider Veränderlichen geführt hat; ich will indefs einige Beispiele dieser Abnahme geben, um zugleich die in §. 171 gelehrte Messungsmethode der Influenzelektricität deutlicher zu machen.

Digitized by Google

Es wurde der grofse Condensator (§. 316.) angewendet, [327a.] dessen Scheiben 81,6 Linien Durchmesser haben. Der Fortsatz der Collectorscheibe war durch einen $3\frac{1}{2}$ Linien langen in einer Kugel sich endigenden Drath verlängert, in dem Fortsatze der Condensatorscheibe ein 131 Linien langer Drath mit Endkugel befestigt. Die Collectorscheibe wurde mit positiver Elektricität versehen, die Condensatorscheibe jener nahe gestellt, und an das Ende des Fortsatzdrathes der Condensatorscheibe eine Prüfungskugel angelegt und ableitend berührt. Als die Entfernung der Scheiben von 3 bis 50 Linien verändert wurde, gab die Prüfungskugel an einem empfindlichen Säulenelektroskope keine Elektricität zu erkennen, wonach ich versichert war, dafs innerhalb dieser Entfernungen die Influenzelektricität erster Art (hier negative Elektricität) ganz auf der Condensatorscheibe und ihrem Drathe vorhanden war. Bezeichnet man diese Menge mit e', die der Collectorscheibe direct gegebene Menge mit e, so ist nach §. 171

$$\frac{e'}{e} = m = 1 - \frac{a}{a'}\frac{t'}{t}$$

t bedeutet die Torsion, welche in der Torsionswage durch eine Prüfungskugel erlangt wird, die an einen beliebigen Punkt der Collectorscheibe angelegt worden ist; t' die Torsion nach Anlegung der Prüfungskugel an einen gleichfalls beliebigen Punkt auf einer der beiden Scheiben, nachdem die Condensatorscheibe in die Nähe der Collectorscheibe gebracht, ableitend berührt, dann isolirt und mit dieser Scheibe in metallische Berührung gesetzt worden ist. Die Constante $\frac{a}{a'}$ hängt von der Wahl der beiden Punkte ab, an welche die Prüfungskugel angelegt wird. Um den Werth dieser Constante zu bestimmen, führt man die beiden Messungen in der Torsionswage aus, ohne dafs dabei die Condensatorscheibe ableitend berührt wird. Für diesen Fall hat man nämlich $e' = o$ und dadurch $\frac{a}{a'} = \frac{t}{t'}$.

Die Messungen in der Torsionswage wurden mit gepaarten [327b.] Prüfungskugeln (§. 116.) ausgeführt. Die elektrisirte Collectorscheibe wurde an der Kugel ihres Fortsatzes mit der einen Prüfungskugel berührt, alsdann die Condensatorscheibe isolirt der Collectorscheibe bis zu einem Anschlagstücke genähert,

Digitized by Google

[327b.] und durch einen kurzen gebogenen Drath mit ihr verbunden, endlich die zweite Prüfungskugel an das Ende des Drathes der Condensatorscheibe angelegt. Die zweite Kugel wurde zuerst, dann die erste in die Wage gebracht, und die Messungen nach der Formel (§. 117.) auf denselben Zeitpunkt reducirt.

Messung der Constante $\frac{a}{a'}$

Prüfungskugel.	Zeitintervall.	Torsionen, beobacht.	Torsionen, berechn.	$\frac{a}{a'}$	Mittel.
4		398°,5			
3	2',5	290	305°,6	0,767	
	3 ,4	270			
3		341			
4	3	248	263 ,8	0,773	
	4 ,1	228			
3		356 ,5			
4	2 ,8	259 ,5	276 ,2	0,774	
	3 ,6	239 ,5			
4		262			
3	2 ,2	194 ,5	201 ,6	0,769	0,771
	6 ,6	174 ,5			

Nachdem die Collectorscheibe elektrisirt und an der angegebenen Stelle mit einer Prüfungskugel berührt worden, brachte ich die Condensatorscheibe in eine bestimmte Entfernung von jener Scheibe, gab dem Ende ihres Zuleitungsdrathes für einen Augenblick eine gute Ableitung, rückte sodann die Collectorscheibe bis zum Anschlagstücke, verband beide Scheiben durch den kurzen Drath, und berührte mit der andern Prüfungskugel das Ende des Zuleiters der Condensatorscheibe. Die zweite Kugel kam zuerst in die Wage und gab den Werth t', die erste, nach angebrachter Reduction, den Werth t.

Digitized by Google

Messung des Verhältnisses $\frac{t'}{t}$ [327b.]

Entfernung der Scheiben.	Prüfungskugel.	Zeitintervall.	Torsionen, beobacht.	Torsionen, berechn.	$\frac{t'}{t}$	Mittel.
2 Linien	3		41°			
	4	2',9	327	252°	0,116	
		2,5	307			
	4		37,5			
	3	3,4	301	323,8	0,116	0,116
		3,2	281			
3 -	3		60,8			
	4	3,4	396,5	418,2	0,145	
		3,3	376,5			
	4		54			
	3	3,2	338	362,5	0,149	0,147
		3,8	318			
4 -	4		58,7			
	3	2,8	286	306,8	0,191	
		2,9	266			
	3		62,3			
	4	3,7	307,3	331,1	0,188	0,190
		3,5	287,3			
5 -	3		105			
	4	3,8	435,5	460,5	0,228	
		3,2	415,5			
	4		104			
	3	3,9	425,2	450,9	0,230	0,229
		3,2	405,2			
10 -	3		138			
	4	2,8	324	347,1	0,397	
		2,6	304			
	4		104,3			
	3	3,5	238	255,2	0,409	0,403
		4,4	218			
15 -	3		216			
	4	3	408,5	433,8	0,498	
		2,5	388,5			
	4		185			
	3	3,6	337,5	363,2	0,509	0,503
		3	317,5			
20 -	4		152			
	3	3,2	221,7	236,4	0,643	
		4,7	201,7			
	3		131			
	4	3	186	198,9	0,653	0,648
		5,1	166			
50 -	3		384			
	4	3,2	372	397,3	0,966	
		2,7	352			
	4		226,5			
	3	2,3	228	239,5	0,945	0,956
		4,3	208			

Digitized by Google

[327b.] Die Menge m der Influenzelektricität der Condensatorscheibe, die von der Elektricitätsmenge 1 erregt wird, läfst sich nach diesen Bestimmungen für die angewandten Entfernungen berechnen. Es ist nach §. 327a.

$$m = 1 - 0{,}771\,\frac{t'}{t} \quad \text{daher}$$

Entfernung d. Scheiben	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	20‴	50‴
Menge d. Influenzelektr.	0,911	0,887	0,854	0,823	0,689	0,612	0,500	0,263

327c. Eine andere Reihe von Messungen wurde an demselben Condensator angestellt, an dem aber der Fortsatz der Collectorscheibe durch einen 101 Linien langen Drath mit einer 7 Linien dicken Kugel verbunden war. Der äufserste Punkt dieser Kugel wurde zur Prüfung gewählt, sowol bei der einfachen Collectorscheibe, als nach ihrer Verbindung mit der Condensatorscheibe. Die Prüfungskugel, welche die zusammengesetzte Scheibe berührt hatte, kam zuerst in die Wage.

Bestimmung von $\frac{a}{a'}$

Prüfungskugel.	Zeitintervall.	Torsionen, beobacht.	Torsionen, berechn.	$\frac{a}{a'}$	Mittel.
4		183°,5			
3	3',3	220	236°	1,29	
	4,5	200			
3		146,5			
4	3,4	174	188	1,28	
	2,6	164			
3		163			
4	3,1	198,5	211,1	1,29	
	2,6	188,5			
4		104,4			
3	2,5	127	136	1,30	1,29
	3	117			

Digitized by Google

Bestimmung von $\frac{t'}{t}$ [327c.]

Entfernung der Scheiben.	Prüfungskugel.	Zeitintervall.	Torsionen, beobacht.	Torsionen, berechn.	$\frac{t'}{t}$	Mittel.
3 Linien	3		34°,7			
	4	4',6	262	282°,8	0,123	
		4 ,8	242			
	4		29 ,3			
	3	3 ,3	221 ,3	232 ,2	0,126	0,124
		4 ,4	201 ,3			
5 -	3		55			
	4	3 ,6	286 ,5	304 ,4	0,181	
		4 ,3	266 ,5			
	4		49			
	3	3 ,2	254 ,8	268 ,2	0,183	0,182
		5 ,1	234 ,8			
10 -	4		72 ,2			
	3	3 ,2	241 ,2	254 ,9	0,283	
		5	221 ,2			
	3		125 ,7			
	4	3 ,7	425	449 ,4	0,280	0,281
		3 ,2	405			
15 -	4		106 ,8			
	3	3 ,6	279 ,8	296 ,5	0,360	
		4 ,6	259 ,8			
	3		73 ,5			
	4	3 ,3	191 ,2	202 ,8	0,362	0,361
		6 ,2	171 ,2			
20 -	3		120			
	4	3 ,6	268 ,5	284 ,2	0,422	
		4 ,9	248 ,5			
	4		91 ,2			
	3	2 ,9	204 ,2	214 ,9	0,424	0,423
		5 ,8	184 ,2			
50 -	4		109			
	3	3 ,2	175 ,8	187 ,7	0,582	
		5 ,9	155 ,8			
	4		138 ,8			
	3	3 ,4	225 ,7	238 ,8	0,581	0,581
		5 ,6	205 ,7			

Die Menge der Influenzelektricität oder m erhält man durch den Ausdruck:

$$m = 1 - 1{,}29\,\frac{t'}{t}.$$

Entfernung der Scheiben	3'''	5'''	10'''	15'''	20'''	50'''
Menge der Influenzelektricität	0,840	0,765	0,638	0,534	0,454	0,251

Digitized by Google

[327c.] Durch Hinzusetzung des langen Drathes an die Collectorscheibe ist die Menge der Influenzelektricität bei gleicher Entfernung der Scheiben vermindert, und die Abnahme derselben mit steigender Entfernung vergrößert worden.

Entladung und Schlagweite des Ansammlungsapparates.

328 Wir haben an dem Apparate zwei mit engegengesetzter Elektricität versehene Flächen, von welchen die eine isolirt, die andere zur Erde abgeleitet ist. Bringt man die nicht isolirte (Condensator-) Platte mit der isolirten (Collectorplatte) durch einen Leiter in Verbindung, so tritt ein Austausch der Elektricitäten der Platten ein, und beide werden unelektrisch. Dies nennt man *Entladung* der Platten, die in einfachster Weise so herbeigeführt wird, daſs man einen von der Condensatorplatte ausgehenden Leiter an die Collectorplatte anlegt. Berührt man die Collectorplatte allein mit einem nicht isolirten Leiter, so werden die Platten entladen, weil die Erde die Verbindung zwischen beiden herstellt. Aber ehe das Ende des Verbindungsleiters die Collectorscheibe berührt, erfolgt, wie dies bei zwei entgegengesetzt elektrischen Kugeln geschah (§. 225.), eine theilweise Entladung, und der bei Weitem gröſste Theil der auf den Platten angesammelten Elektricitäten verschwindet mit dem, durch Licht und Schall bemerkbaren, elektrischen Funken. Die Entfernung des nächsten Punktes des Leiters von der Collectorplatte oder deren Fortsatze bei dieser Entladung, heiſst die *Schlagweite* des Ansammlungsapparates, und hängt wesentlich von der Form der Endflächen ab, zwischen welchen der Funke erscheint. Es werden in dem Folgenden Schlagweiten mit einander verglichen, bei welchen die Form der Endflächen unverändert geblieben ist.

329 Es sei eine Collectorscheibe gegeben mit ihrem Zuleitungsdrathe, an dessen Ende eine Ausströmung von Elektricität zuerst stattfindet. [Diese Ausströmung ist nichts Anderes, als eine freiwillige Entladung eines Theiles der Elektricität bei bestimmter Elektricitätsmenge der Scheibe, und es liegt nahe,

Digitized by Google

einen Zusammenhang zu vermuthen dieser Entladung mit der [329]
durch einen entgegengestellten Leiter künstlich herbeigeführten. Die Schlagweite am Ende des Zuleitungsdrathes müfste demnach desto gröfser sein, je näher die Elektricitätsmenge der Scheibe der gröfsten Menge liegt, die sie zu halten vermag, und daher gröfser, wenn die Scheibe allein steht, als wenn ihr die Condensatorscheibe nahe gebracht ist. Dies zeigt sich in der That, und die genaue Messung der Schlagweite in diesen beiden Fällen führt zu einer Bestimmung der Verstärkungszahl des Apparates, die, wenn auch weniger genau als durch die Torsionswage, von Wichtigkeit für die Kenntnifs der Entladung selbst ist. Ich theile diese Versuche deshalb ausführlich mit.

Das Funkenmikrometer dient zur Bestimmung 330
der Schlagweite. Auf einem schweren Metallfufse ist eine 2 Zoll $8\frac{1}{2}$ Linien lange, 11 Linien breite Metallplatte befestigt (Fig. 75.), auf der ein horizontal liegender Schlitten durch eine Mikrometerschraube fortbewegt wird. Ein verticaler gefirnifster Glasstab von $2\frac{1}{2}$ Zoll Länge ist an dem Ende der Platte, ein anderer auf dem Schlitten befestigt, und jeder trägt einen verticalen Metallzapfen und seitlich eine Druckschraube. Letztere besteht aus einem durchbohrten Metallstücke und einer in die Bohrung greifenden Schraube, um einen darin liegenden Verbindungsdrath festzuklemmen. Auf die Zapfen werden die Körper aufgesteckt, zwischen welchen die elektrische Entladung stattfinden, die Schlagweite also gemessen werden soll. Bei den folgenden Versuchen waren Kugeln von sieben Linien Durchmesser aufgesteckt, die um die Zapfen drehbar waren, und von welchen daher ein gröfster Kreis zur Entladung benutzt werden konnte. Die Entfernung der Kugelflächen wird durch die Theilung auf dem Schlitten (bis 0,2 par. Lin.), einem Vernier (bis 0,02 Lin.), und die Theilung auf dem Kopfe der Führschraube (bis 0,0023 Lin.) angegeben. Auf dem abgebildeten Exemplare kann der Schlitten nur durch die Schraube bewegt werden. Bei anderen Versuchen ist auch die grobe Bewegung des Schlittens durch die Hand wünschenswerth; deshalb wurde bei einem zweiten Exemplare die Mutter der Mikrometerschraube nicht an der Platte festgelegt, sondern durch eine unten angebrachte lösbare Schraube gegen die Platte geklemmt (Fig. 75ª).

Digitized by Google

331 Die feststehende Kugel des Funkenmikrometers wurde durch einen 8 Zoll 5 Linien langen, $\frac{1}{2}$ Linie dicken Kupferdrath mit dem Fortsatze der Collectorscheibe des grofsen Ansammlungsapparates (§. 316.), die bewegliche Kugel mit den Gasröhren des Hauses durch einen Drath verbunden. Da die Condensatorscheibe ebenfalls zu den Gasröhren abgeleitet war, so bestand eine metallische Verbindung zwischen dieser Scheibe und der beweglichen Kugel des Mikrometers. Es sollte die Schlagweite zwischen den beiden Kugeln, also an dem Ende des Zuleitungsdrathes der Collectorscheibe gemessen werden, und zwar bei alleinstehender Collectorscheibe, und dann bei Anwesenheit der Condensatorscheibe. Es wurde zuerst die Condensatorscheibe heruntergeschlagen, die Collectorscheibe durch Berührung mit einer geladenen leydener Flasche elektrisirt, und darauf die bewegliche Kugel des Mikrometers, die 4 Linien von der festen entfernt stand, gegen diese durch möglichst gleichmäfsige Drehung der Schraube bewegt. Bei dem, durch den Funken merkbaren, Eintritt der Entladung der Scheiben, wurde mit der Bewegung der Schraube innegehalten, und der Stand der Theilungen abgelesen. Da vor jeder Versuchsreihe der Stand bei der Berührung der Kugeln ermittelt war, so war durch die letzte Ablesung die Schlagweite bestimmt. Alsdann wurde die Collectorscheibe aufs Neue mit der Flasche elektrisirt, die Condensatorscheibe aufgeschlagen, so dafs sie der ersten in bestimmter Entfernung parallel gegenüberstand, und die Schlagweite wiederum gemessen.

332 Die gewonnenen beiden Schlagweiten werden mit einander verglichen, unter Annahme einer gleichen Elektricitätsmenge in der Collectorscheibe. Es war durch Messung in der Torsionswage ausgemacht worden, dafs die leydener Flasche 0,014 ihrer Elektricitätsmenge der Scheibe bei der Berührung abgab, bei der zweiten Berührung also weniger als bei der ersten, und zugleich fiel die Elektricitätsmenge bei der zweiten Berührung durch die Zerstreuung geringer aus. Um diese Ungleichheit der Mengen zu corrigiren, bediente ich mich der Methode der abwechselnden Bestimmung, und verglich eine einzelne Schlagweite mit dem Mittel der beiden sie einschliefsenden Schlagweiten. Es wurden bei derselben Ladung der

Digitized by Google

Flasche 8 Schlagweiten bestimmt, die hiernach 6 Werthe des [332]
gesuchten Verhältnisses lieferten. Die Zeit zwischen zwei folgenden Bestimmungen betrug nahe 50 Sekunden. Zur genauen Messung der Schlagweite wird gefordert, dafs die Kugeln an den nächsten Punkten ihrer Oberflächen vollkommen rund und polirt seien; man sucht die passenden Stellen, indem man die Kugeln um ihre Zapfen dreht. Wenn die Kugeln nach mehreren Entladungen angehaucht werden, und sich an der Entladungsstelle ein vollkommener unbenetzter Kreis zeigt, so kann man auf sichere Schlagweiten rechnen.

Verhältnifs der Schlagweiten an der Collectorscheibe ohne 333
Condensatorscheibe und mit derselben.

Entfernung der Scheiben 2 Linien.

Schlagweite in par. Linien.

Ohne Cond.-Scheibe.	Mit Cond.-Scheibe.	Mittel.	Verhältnifs.
1,475			
	0,150	1,406	0,106
1,337		0,142	0,106
	0,135	1,303	0,104
1,270		0,132	0,104
	0,130	1,244	0,105
1,219		0,128	0,105
	0,126		0,105
	5 Linien.		
1,407			
	0,371	1,353	0,274
1,300		0,360	0,277
	0,349	1,275	0,273
1,251		0,338	0,270
	0,327	1,222	0,268
1,194		0,323	0,270
	0,320		0,272
	10 Linien.		
1,354			
	0,571	1,287	0,443
1,221		0,554	0,453
	0,538	1,184	0,454
1,147		0,519	0,452
	0,501	1,115	0,449
1,083		0,494	0,456
	0,487		0,451

Digitized by Google

[333]

Ohne Cond.-Scheibe.	Mit Cond.-Scheibe.	Mittel.	Verhältnifs.
	Entfernung der Scheiben 20 Linien.		
1,554			
	1,023	1,504	0,680
1,454		1,002	0,689
	0,981	1,424	0,688
1,394		0,964	0,691
	0,947	1,380	0,686
1,367		0,939	0,688
	0,932		0,687
	30 Linien.		
1,319			
	1,026	1,282	0,800
1,246		0,998	0,801
	0,970	1,229	0,789
1,212		0,959	0,791
	0,948	1,195	0,793
1,179		0,937	0,794
	0,926		0,794
	50 Linien.		
1,551			
	1,391	1,521	0,914
1,491		1,373	0,920
	1,356	1,475	0,919
1,460		1,325	0,908
	1,304	1,435	0,909
1,411		1,290	0,914
	1,276		0,914

334 Setzt man die Schlagweite an der Kugel der Collectorscheibe bei sehr grofser (∞) Entfernung der Condensatorscheibe $= 1$, so erhält sie für bestimmte Entfernungen dieser Scheibe die folgenden Werthe:

Entfernung d. Scheiben	∞	50‴	30‴	20‴	10‴	5‴	2‴
Schlagweite	1	0,914	0,794	0,687	0,451	0,272	0,105

Die Schlagweite an der Collectorscheibe nimmt also ab durch Anwesenheit der Condensatorscheibe, und zwar in desto gröfserem Verhältnisse, je näher die Scheiben einander stehen. Das Verhältnifs dieser Abnahme stimmt nahe mit dem der Dichtigkeiten an der Kugel der Collectorscheibe, das §. 318 an

Digitized by Google

demselben Apparate durch die Torsionswage für gleiche Ent- [334]
fernungen der Scheiben folgendermafsen bestimmt worden ist:

Entfernung d. Scheiben	∞	50‴	20‴	10‴	5‴	2‴
Dichtigkeiten	1	0,897	0,683	0,492	0,335	0,173

Die Abweichungen dieser Verhältnisse von den durch Schlagweiten bestimmten sind erklärlich, theils durch die geringere Genauigkeit, mit der die Schlagweite gemessen wird, hauptsächlich aber dadurch, dafs die Nähe der beweglichen Kugel auf die Dichtigkeit an der festen nothwendig einen Einfluſs äufsern mufs, der mit gröfserer Nähe beider Kugeln bedeutender wird. Daher weichen die gewonnenen Verhältnisse bei geringer Entfernung der Scheiben, wo auch die Schlagweiten am kleinsten sind, am meisten von einander ab. Wir gelangen daher zu dem wichtigen Satze, der durch spätere Versuche bestätigt wird (§. 393.): ***Die Schlagweiten an einem Punkte der Collectorscheibe sind den elektrischen Dichtigkeiten dieses Punktes direct proportional.*** — Bleibt ein Körpersystem ungeändert, so sind die Dichtigkeiten jedes Punktes der Elektricitätsmenge proportional, die das System enthält. Unter dieser Bedingung giebt also die Schlagweite das Maafs für die ganze Elektricitätsmenge eines Körpersystems.

Ein anderes Beispiel der Messung von Schlagweiten, und 335
dadurch der verminderten Dichtigkeiten am Zuleitungsdrathe der Collectorscheibe, geben die folgenden Versuche, in welchen die Verbindung der vorigen Collectorscheibe mit der festen Kugel des Funkenmikrometers durch einen 18 Zoll 3 Lin. langen Drath hergestellt wurde.

Schlagweiten an der Collectorscheibe

(in par. Linien.)

Entfernung der Scheiben 5 Linien.

Ohne Cond.-Scheibe.	Mit Cond.-Scheibe.	Mittel.	Verhältnifs.
1,460			
	0,409	1,430	0,286
1,400		0,394	0,280
	0,380	1,387	0,274
1,374		0,380	0,276
	0,380	1,351	0,281
1,329		0,370	0,278
	0,360		0,279

Digitized by Google

[335] Entfernung der Scheiben 10 Linien.

Schlagweiten. Ohne Cond.-Scheibe.	Mit Cond.-Scheibe.	Mittel.	Verhältnifs.
1,295			
	0,635	1,280	0,496
1,266		0,626	0,494
	0,617	1,259	0,490
1,253		0,604	0,482
	0,591	1,243	0,475
1,233		0,588	0,477
	0,586		0,486
	20 Linien.		
1,509			
	1,005	1,488	0,676
1,467		1,002	0,683
	1,000	1,433	0,697
1,400		0,987	0,700
	0,974	1,377	0,709
1,347		0,957	0,710
	0,940		0,696

Die Verhältnisse der Schlagweiten, die oben bei dem 101 Lin. langen Zuleitungsdrathe 0,272 0,451 0,687
waren, sind hier 0,279 0,486 0,697
gefunden, also durch die Verlängerung des Drathes nicht wesentlich verändert worden.

Anwendung des Ansammlungsapparates.

336 Der Ansammlungsapparat ist bisher im Allgemeinen betrachtet, und seine Wirksamkeit dahin erkannt worden, dafs auf dem isolirten Leiter, der einen Theil des Apparates ausmacht, die Elektricität eine andere Anordnung erhalten hat, als in dem Falle, wo dieser Leiter allein steht. Wir haben gesehen, dafs ein gewisser Punkt des Leiters eine Verminderung seiner elektrischen Dichtigkeit erfuhr und daher, um den bestimmten Werth der Dichtigkeit zu erlangen, bei dem eine Ausströmung von Elektricität erfolgte, eine gröfsere Elektricitätsmenge im Leiter verlangte als früher. Es war hiermit die

Digitized by Google

wichtigste Anwendung des Apparates angegeben, bei welcher [336]
er den Namen *Ladungsplatte,* in anderer und gebräuchlichster Form *Ladungsflasche* erhält. Bei dieser Anwendung ist stillschweigend vorausgesetzt, dafs die Elektricitätsmenge, die dem Apparate gegeben wird, in unserem Belieben steht, dafs also, wenn die Elektricitätsmenge 1 nicht ausreicht, wir die Menge 2 u. s. f. bereit haben. Wir müssen also, da die Zuführung von Elektricität stets durch Mittheilung von einem Leiter geschieht, diesen an einer Elektricitätsquelle von beliebig zu steigernder Dichtigkeit speisen, wie wir eine solche in der Elektrisirmaschine wirklich besitzen. Die Elektricität dieser Quelle kommt daher nicht weiter zur Sprache, als dafs sie für den Zweck der Ansammlung in hinreichender Menge und Dichtigkeit vorhanden sei. Eine Folge dieser Anwendung ist ferner, dafs der Apparat auch nach der Ansammlung zusammengesetzt bleibt, da in vielen Fällen der Leiter einzelnstehend die Elektricität, die er erhalten hat, nicht zu bewahren vermöchte. Aber auch in den Fällen, wo die angesammelte Elektricitätsmenge diese Gröfse nicht erreicht, benutzt man die Ladungsplatte und Flasche nur in ihrer Zusammensetzung.

Eine andere, von der vorigen ganz verschiedene, Anwen- 337
dung des Ansammlungsapparates beruht darauf, dafs ein constant elektrisirter Leiter, an bestimmte Punkte der Collectorscheibe angelegt, dieser Scheibe mehr Elektricität abgiebt, wenn ihr die Condensatorscheibe nahe, als wenn sie allein steht. Diese Punkte sind dadurch bestimmt, dafs ihre Dichtigkeit durch Nahestellung der Condensatorscheibe *vermindert* wird. So angewendet, wird der Apparat *Condensator* im engeren Sinne genannt, während diese Bezeichnung im Allgemeinen für den Ansammlungsapparat überhaupt gilt. Ein wesentliches Merkmal des Condensators ist daher, dafs die zu seiner Elektrisirung angewandte Elektricitätsquelle eine bestimmte Dichtigkeit besitzen mufs, da hingegen diese Dichtigkeit bei der Ladungsplatte gleichgültig war. Aus der Wirkung des Condensators wird ferner auf die Dichtigkeit der Elektricitätsquelle zurückgeschlossen, und dazu ist es nöthig, dafs der Apparat nach der Ansammlung auseinander gelegt, dafs die Collector- von der Condensatorscheibe getrennt werde. Bei

Digitized by Google

[337] der Ladungsplatte bleibt der Apparat gewöhnlich zusammengesetzt, und dadurch bildet sich ein zweites, wenn auch nicht wesentliches, Unterscheidungsmerkmal beider Apparate.

Der Condensator.

338 Gebrauch und Nutzen des Condensators wird durch die folgenden Versuche erläutert. Ich gebrauchte den Ansammlungsapparat, an dessen Collectorscheibe oben (§. 334.) die Schlagweiten bestimmt worden sind. Es war also eine isolirte verticalstehende Messingscheibe von 81,6 Linien Durchmesser, auf deren Mitte ein 101 Linien langer Drath aufgesetzt war, der in die feststehende Kugel des Funkenmikrometers endigte. Dieser Collectorscheibe wurde die abgeleitete Condensatorscheibe in verschiedenen Entfernungen parallel gegenübergestellt. Eine leydener Flasche mit einer Belegung von $\frac{1}{2}$ Quadratfufs (§. 362.), deren Glascylinder 41 Linien im äufseren Durchmesser hielt, und deren Zuleitungsdrath mit Kugel 13 Zoll lang war, wurde als elektrisirter Körper benutzt. Während die Kugeln des Funkenmikrometers 4 Lin. entfernt standen, wurde der Knopf der Flasche an die feststehende Kugel des Mikrometers angelegt, und zwar so, dafs der Zuleitungsdrath der Flasche mit dem der Collectorscheibe einen rechten Winkel bildete. Die Scheibe stand dabei allein, und ihre Schlagweite wurde nach Entfernung der Flasche gemessen. Alsdann wurde die Condensatorscheibe der Collectorscheibe nahe gestellt, und die Kugel der letzteren aufs Neue mit der Flasche berührt. Als darauf die Flasche und alsdann die Condensatorscheibe entfernt war, wurde die Schlagweite aufs Neue gemessen. Der Elektricitätsverlust der Flasche durch die erste Berührung und durch Zerstreuung wurde bei diesen, keine grofse Genauigkeit zulassenden, Versuchen nicht berücksichtigt. Jeder Versuch wurde dafür öfter wiederholt. Das Verhältnifs der beiden gemessenen Schlagweiten ist, da diese bei freistehender Collectorscheibe genommen waren, zugleich das Verhältnifs der Elektricitätsmengen (§. 334.), welche diese Scheibe mit und ohne Hülfe der Condensatorscheibe von der Flasche angenommen hatte.

Digitized by Google

Verhältnifs der von der Collectorscheibe aufgenommenen Elek- 339
tricitätsmengen.

Entfernung d. Scheiben.	Schlagweiten Ohne Cond.-Sch.	Mit Cond.-Sch.	Verhältnifs d. Mengen.	Mittel.
10 Lin.	1,100	2,593	2,35	
	1,063	2,453	2,30	
	1,013	2,373	2,34	2,33
20	1,304	1,969	1,51	
	1,32	2,02	1,53	
	1,30	1,96	1,51	1,52
30	0,82	1,06	1,29	
	0,787	1,04	1,32	
	0,78	1,022	1,31	
	0,78	1,02	1,31	1,31
50	0,962	1,062	1,10	
	0,920	1,020	1,11	
	0,902	1,013	1,12	1,11

Geringere Entfernungen der Scheiben als 10 Lin. konnten nicht genommen werden, weil dabei entweder die eine Schlagweite zu gering ausfiel, um gemessen werden zu können, oder die andere so grofs wurde, dafs die Elektricität vor der Messung zischend ausströmte.

Die Collectorscheibe, die, alleinstehend, von der leydener 340
Flasche die Elektricitätsmenge 1 empfing, hat also, wenn die Condensatorscheibe ihr gegenüberstand, die folgenden Mengen angenommen:

Entfernung der Scheiben	∞	50‴	30‴	20‴	10‴
Aufgenommene Elektricitätsmenge	1	1,11	1,31	1,52	2,33

Diese Verhältnisse der unter den erwähnten Bedingungen von der Collectorscheibe aufgenommenen Elektricitätsmengen heifsen *Verstärkungszahlen* des Condensators, aber es ist wohl zu merken, dafs diese wesentlich verschieden sind von den Verstärkungszahlen, die bei dem Ansammlungsapparate angeführt worden sind (§. 318.), und dem Apparate als Ladungsplatte zukommen. Die früher aufgeführten Zahlen geben nämlich das Verhältnifs der Elektricitätsmenge, die der Apparat aufnehmen kann, also das Verhältnifs der Dichtigkeiten, welche der zuerst ausströmende Punkt der Collectorscheibe erhält, mit und ohne Hülfe der Condensatorscheibe. Sie blieben unabhängig von

Digitized by Google

[340] der Elektricitätsquelle, und waren daher für denselben Apparat *constante* Zahlen. Die Verstärkungszahl des Condensators soll hingegen angeben, welche Elektricitätsmenge die Collectorscheibe allein und mit Hülfe der Condensatorscheibe von einer Elektricitätsquelle aufgenommen hat, sie ist von Gestalt, Gröfse, Lage dieser Quelle und von dem Anlegungspunkte derselben an die Collectorscheibe abhängig, und daher bei demselben Condensator eine ***variable*** Gröfse.

341 Wir wollen einen Condensator als gegeben annehmen: also 2 in bestimmte Entfernung gestellte leitende Scheiben mit gegebenem Zuleitungsdrathe der Collectorscheibe, und Ableitungsdrathe der Condensatorscheibe. Die Verstärkungszahl dieses Condensators anzugeben, ist eine völlig unbestimmte Aufgabe. Diese Zahl hängt von der elektrischen Anordnung ab auf dem zusammengesetzten Körper, der durch Collectorscheibe und den daran zu prüfenden Körper gebildet wird, und von der Aenderung dieser Anordnung durch Hinzufügung der Condensatorscheibe. Ist eine Kugel von bestimmter Gröfse als Elektricitätsquelle an einen bestimmten Punkt der Collectorscheibe angelegt, und für diesen Versuch die Verstärkungszahl gefunden worden, so gilt diese ersichtlich nicht mehr, wenn eine Kugel anderer Gröfse oder gar ein anders geformter Leiter als Elektricitätsquelle benutzt wird. Die theoretische Betrachtung der elektrischen Anordnung ist, wie wir früher gesehen, selbst in den einfachsten Fällen so verwickelt, dafs sie uns hier gänzlich im Stiche läfst, und sich nicht einmal angeben läfst, in welchem Sinne die Verstärkungszahl durch Aenderung der Elektricitätsquelle geändert werde. Wir sind hier völlig auf den Versuch angewiesen. Dieser lehrt, dafs wenn die Elektricitätsquelle eine im Verhältnisse zur Collectorscheibe grofse Oberfläche besitzt und an den Punkt der Scheibe angelegt wird, der bei Benutzung derselben als Ladungsplatte zuerst Elektricität ausströmen würde, alsdann die Verstärkungszahl des Condensators der der Ladungsplatte nahe gleich ist. Die §. 340 angeführten Versuche geben hierzu einen Beleg. Wir haben nämlich für den zu jenen Versuchen gebrauchten Apparat §. 334. die Schlagweiten ermittelt, durch deren umgekehrte

Digitized by Google

Werthe die Verstärkungszahlen gegeben sind, welche dem Apparate als Ladungsplatte zukommen. Man erhält [341]

Entfernung der Scheiben	∞	50‴	30‴	20‴	10‴
Verstärkungszahl	1	1,09	1,25	1,45	2,21

Diese Zahlen kommen den Verstärkungszahlen §. 340 sehr nahe, welche dem Apparate zukommen, wenn er als Condensator für eine leydener Flasche benutzt wird.

Der Condensator ist zuweilen dazu benutzt worden, Messungen sehr kleiner Dichtigkeiten constanter und ergiebiger Elektricitätsquellen auszuführen. Eine solche Quelle haben wir beiläufig in der trockenen Säule kennen gelernt (§. 13.), deren Pole Elektricität von bestimmter elektrischer Dichtigkeit besitzen, die sich nach angebrachter Ableitung sogleich wieder herstellt. Wäre diese Dichtigkeit so klein, dafs die von dem Pole der Säule einer Prüfungskugel oder einem Elektroskope abgegebene Elektricitätsmenge nicht gemessen werden könnte, so läfst sich diese Menge vergröfsern, wenn man den Pol mit der Collectorplatte eines Condensators in Verbindung setzt, und diese Platte nach Entfernung der Condensatorplatte mit der Kugel berührt. Aber dies Verfahren, verschiedene Elektricitätsquellen nach ihrer Ergiebigkeit zu bestimmen, kann nur Genauigkeit gewähren, wenn die verschiedenen Elektricitätsquellen gleiche Gröfse und Form besitzen. Allgemein nützlicher hat sich der Condensator erwiesen, um kleine Elektricitätsmengen auch bei Benutzung träger Elektroskope zur Anzeige zu bringen; doch ist dieser Gebrauch durch die gesteigerte Empfindlichkeit der Elektroskope (namentlich seit Erfindung des Säulenelektroskops) mehr und mehr beschränkt worden. [342]

Einrichtung des Condensators. Volta erfand den Condensator im Jahre 1782, indem er einen Elektrophor zur Ansammlung von Elektricität benutzte [1]). Hier war der aufliegende Schild die Collectorplatte, die metallene Form die Condensatorplatte, und der Kuchen diente dazu, beide in bestimmter Entfernung von einander zu halten. Nachdem ein sehr schwach elektrisirter Körper (eine bereits entladene ley- [343]

[1]) *Phil. transact. f.* 1782. *Collezione dell' opere etc.*° I$_1$. 221.

Digitized by Google

[343] dener Flasche) an den Schild angelegt war, gab dieser, aufgehoben, einem Elektroskope eine deutliche Divergenz, die von der Flasche nicht unmittelbar erhalten werden konnte. Natürlich mufste bei diesem Versuche der Kuchen des Elektrophors gänzlich unelektrisch sein, da sonst der Schild elektrisch geworden wäre, wenn auch die Flasche keine Elektricität geliefert hätte. Volta fand diese Bedingung sehr schwer zu erfüllen, weil durch Aufsetzen und Abheben des Schildes häufig der Kuchen gerieben und elektrisirt wurde. Er verfiel daher auf den Gedanken, Kuchen und Form fortzulassen, und den Schild auf einen Halbleiter zu setzen, auf eine getrocknete Holz- oder Marmorplatte. Hier war eine Elektrisirung der Platte nicht zu fürchten, und der Apparat wirkte dennoch als Condensator. Die Marmorplatte, die hier Condensatorplatte war, mufste aber von eigener Beschaffenheit sein. Sie durfte nicht gut leiten, weil sie sonst die Elektricität des aufgesetzten Schildes aufgenommen hätte, und nicht zu wenig leiten, weil sie als Condensatorplatte nicht isolirt sein darf. Volta nahm Carrarischen Marmor, und wenn dieser den Dienst versagte, suchte er durch Austrockenen und, wo dies nicht nützte, durch einen isolirenden Firnifs nachzuhelfen. Bei dem letzten Mittel fand sich nun aber natürlich, dafs die Unvollkommenheit des Leitungsvermögens des Marmors dem Zwecke eher schädlich als nützlich war, und die Platte wieder aus Metall genommen werden konnte. So war also der Condensator zurückgeführt auf die Form, die er zuerst hatte, und noch jetzt besitzt, auf zwei Metallplatten, die an den Flächen, mit welchen sie zur Berührung gebracht werden, mit einem isolirenden Firnisse bedeckt sind. Der Firnifs dient nur dazu, bei sehr geringer Entfernung der Platten, den Uebergang von Elektricität zwischen beiden zu verhindern. Wo die Entfernung gröfser genommen wird, kann auch der Firnifs fortgelassen werden.

344 Das condensirende Elektroskop Fig. 76 zeigt ein Goldblattelektroskop mit aufgeschraubtem Condensator. Letzterer besteht aus zwei an einander abgeschliffenen Messingplatten, die auf den sich berührenden Flächen mit einem Firnisse aus Schellack und Copal überzogen sind; die obere Platte ist mit einem Glasstiele versehen, die untere mit einem

Digitized by Google

seitlichen Metallfortsatze, der sich in einer Kugel endigt. Ge- [344]
wöhnlich wird die untere Platte als Collectorplatte benutzt, die zu prüfende Elektricitätsquelle an diese Platte angelegt, während man die obere Platte ableitend berührt. Hebt man die obere Platte ab, so erkennt man an der Divergenz der Goldblätter die geprüfte Elektricität. Wird die obere Platte als Collectorplatte gebraucht, so erhält man im Elektroskope nach dem Abheben dieser Platte Elektricität, die mit der geprüften ungleichnamig ist. Bei dem Gebrauche des Apparates erfährt man häufig, was Volta erfuhr, dafs die Firnifsschichten elektrisch werden, der Apparat wie ein Elektrophor wirkt, und zweideutige Resultate liefert. Man hat sich daher stets zu überzeugen, ob dieser Uebelstand bestehe, und ihn dann durch Bestreichen der Platten mit einer Flamme zu entfernen. Dazu mufs die untere Platte vom Elektroskope abgeschraubt werden. Bequemer ist deshalb der in Fig. 77 abgebildete Condensator, wenn er auch bei gleichen Dimensionen mit dem vorigen weniger empfindlich ist, da die Platten weiter von einander entfernt stehen. Die Platten sind durch eine Luftschicht von einander getrennt, und die Condensatorplatte steht auf einem um ein Gelenk drehbaren Fufse, um sie von der andern Platte entfernen zu können. Einen temporären Condensator setzt man aus zwei Metallplatten zusammen, die man durch eine Glas- oder Glimmerscheibe trennt, oder durch eine Luftschicht, indem man die obere Platte auf drei Siegellacktropfen stellt, die auf der unteren befestigt worden sind. Die Condensatoren mit starrer Zwischenplatte müssen stets sehr vorsichtig angewendet werden, weil sie, auch bei Vermeidung der Reibung, leicht elektrophorisch, und zwar in zwiefacher Weise wirken. Ist die an die Collectorplatte angebrachte Elektricität von geringer Dichtigkeit, so kann die Zwischenplatte durch Influenz elektrisch werden, und die Collectorplatte giebt elektrophorisch dieselbe Elektricitätsart, die daran angebracht gewesen. Ist hingegen die geprüfte Elektricität von grofser Dichtigkeit, so wird die Zwischenplatte leicht durch Mittheilung elektrisch, und die Collectorplatte liefert dann Elektricität entgegengesetzter Art. Man kann sich hiervon an einem Con-

Digitized by Google

[344] densator, dessen Scheiben durch eine Glasplatte getrennt sind, leicht überzeugen.

345 Die Betrachtung des Ansammlungsapparates hat gezeigt, dafs der Apparat desto kräftiger wirke, je gröfser seine Platten bei gleicher Entfernung von einander sind (§. 326.), und wir erwarten daher, was die Erfahrung bestätigt, dafs ein Condensator von einer Elektricitätsquelle desto mehr Elektricität empfangen werde, je gröfser er ist. Es ist aber schwierig, grofse Metallplatten eben herzustellen und zu handhaben, da die Bearbeitung bei zunehmender Gröfse auch eine zunehmende Dicke verlangt. Man verfertigt daher den Condensator selten von mehr als 6 Zoll Durchmesser, und sucht die gewünschte Empfindlichkeit durch Anwendung eines zweiten kleineren Condensators zu erreichen, für den man die Collectorplatte des ersten als Elektricitätsquelle benutzt. Ist die einmalige Uebertragung der Elektricität von dem einen Condensator zum andern nicht genügend, so mufs sie öfter wiederholt werden.

346 Der Duplicator. Die so eben verlangte wiederholte Anwendung der Elektricitätsquelle zu demselben Condensatorversuche bedingt, dafs die Quelle eine constante Dichtigkeit besitze, die sich nach der Ableitung wiederherstellt, und beliebig oft zur Hand sei. Da dies nicht immer der Fall ist, so war man bedacht, die durch einmalige Anlegung der Quelle an den Condensator erlangte Elektricität zu vermehren, indem man die elektrophorische Wirkung dieser Elektricität zu Hülfe nahm. Die zu diesem Zwecke construirten Instrumente verbinden die Wirkung des Elektrophors mit der des Condensators, und werden Duplicatoren genannt. Der erste Duplicator ist von Bennet angegeben worden [1]). Drei ebene Metallscheiben *A*, *B*, *C* sind in der Art gefirnifst, dafs sie, ohne sich metallisch zu berühren, auf einander gelegt werden können. *A* ist die auf ein Elektroskop geschraubte Collectorplatte, auf der oberen Fläche gefirnifst; *B* ist auf beiden Flächen gefirnifst, am Rande mit einer isolirenden horizontalen Handhabe versehen; *C* auf der unteren Fläche gefirnifst und an einem, auf der oberen Fläche angebrachten, Glasstabe aufzuheben. Die

[1]) *Philos. transact. f.* 1787.* 288.

Digitized by Google

Scheibe *B* wird auf *A* gelegt und ableitend berührt, während [346]
die (beispielshalber positive) Elektricitätsquelle an *A* angelegt ist. Man hebt die Scheibe *B*, die durch Influenz negative Elektricität erhalten hat, isolirt ab, und setzt auf sie die Scheibe *C*, die ableitend berührt, positive Elektricität erhält. Wird nun *B* wieder auf *A* gelegt und abgeleitet, während *C* an *A* angelegt wird, so geht ein Theil der positiven Elektricität der Scheibe *C* auf *A* über, verstärkt also die schon in dieser Scheibe befindliche Elektricität, und daher auch die Influenz derselben auf die Scheibe *B*. Bei jeder Wiederholung der Operation erhält also *C* durch Influenz, und *A* durch Mittheilung stärkere Elektricität, bis zuletzt das Elektroskop die Elektricität von *A* anzuzeigen vermag.

Die beschwerliche Handhabung des Duplicators und die 347
Gefahr, die Firnifsschichten der Scheiben durch Reibung zu elektrisiren, sind durch die folgende Einrichtung vermieden, die Bohnenberger dem Apparate gegeben hat [1]) (Fig. 78.). *B* ist eine Holzsäule (besser Metallsäule), in einen langen Zapfen auslaufend, um den die Holzringe *C* und *D* gedreht werden können. Der Ring *D* ist aus der gezeichneten Lage nach vorn und hinten drehbar, *C* hingegen, durch einen Stift gehalten, nur nach vorn. Der Handgriff *I* gehört zum Ringe *D*, und nimmt einen hinter ihm liegenden schmaleren Griff mit, der zu *C* gehört. An *C* und *D* sind mittels gefirnifster Glasstäbe 2 ebene Metallscheiben *E* und *F* befestigt, die einander sehr nahe horizontal übereinander liegen. Eine dritte ähnliche Scheibe *G*, der Scheibe *F* möglichst nahe, steht auf einem Glasfufse, und hat einen Fortsatz in dem Drathe *e*. Der Drath *c* ist an dem Zapfen der Säule befestigt, und steht daher fest, der Drath *d*, an dem Ringe *D* befestigt, ist mit diesem drehbar. Die Biegung der drei Dräthe wird durch die Bedingungen gegeben, die bei der folgenden Handhabung des Apparates gefordert sind. Man dreht die Scheibe *E* nach hinten, bis sie den Drath *e*, und zugleich der Drath *d* die Scheibe *F* berührt; so hat man einen einfachen Condensator, an den *F* die Condensator-, *G* die

[1]) Bohnenberger Beschreibung unterschiedlicher Elektricitätsverdoppler.* Tübing. 1798. 32.

Digitized by Google

[347] Collectorplatte vorstellt. Nachdem die zu prüfende Elektricitätsquelle an *G* angelegt und entfernt ist, dreht man an dem Griffe *I* die Scheibe *E* nach vorn, welche, über *F* anlangend, diese Scheibe mitnimmt, und so weit gerückt wird, bis der Drath *c* die Scheibe *E* berührt. Alsdann werden beide Scheiben zurückgedreht, *F* bleibt über *G* stehen; wenn *E* den Drath *e* berührt, ist die erste Vermehrung der Elektricität der Collectorplatte *G* eingetreten. Die zusammengesetzte Operation des Duplicators wird daher hier durch einmaliges Hin- und Zurückdrehen des Griffes *I* ausgeführt. Nachdem die Drehung beliebig oft geschehen ist, endigt man mit der Stellung der Platten *E* und *F* am Drathe *c*, und prüft die Elektricität der freistehenden Collectorplatte *G*.

348 Bei dem beschriebenen Duplicator wurde die elektrophorische Wirkung der Condensatorplatte benutzt, die Elektricität zu vermehren, und daher war die zuletzt erhaltene Elektricität der zu prüfenden gleichnamig. Einfacher ist der Apparat, wenn man die Collectorplatte elektrophorisch wirken läfst, wie es Cavallo[1]) in der folgenden Weise gethan hat, wodurch die erhaltene Elektricität der untersuchten ungleichnamig wird (Fig. 79.). Vier Metallscheiben sind vertical, und zwar *A* mit *B*, *C* mit *D* parallel und einander möglichst nahe aufgestellt. *A*, *B* und *C* sind auf Glasstäben isolirt, die Stütze von *D* und der Stab *N* bestehen aus Metall. Die Scheiben *A* und *C* stehen auf dem Fufsbrette fest, *B* ist auf die Leiste *L* gestellt, die um den Punkt *K* drehbar ist, und die Scheibe *D* steht auf einem Schieber, durch den sie ganz entfernt werden kann. *A* ist die erste Collectorplatte, an welche die zu prüfende Elektricitätsquelle (sie sei positiv) angelegt wird, während der bogenförmige Ansatz *m* der Scheibe *B* den Stab *N* berührt, diese Scheibe also mit der Erde verbindet. Nach Entfernung der Elektricitätsquelle wird die Scheibe *B* durch ihre Fufsleiste gedreht, bis ihr Drath *m* die zweite Collectorscheibe *C* berührt, und dieser daher negative Elektricität mittheilt; alsdann zurückgedreht, so dafs sie aufs Neue negative Elektricität durch Influenz erhält u. s. f., bis die Anhäufung der Elektricität auf

[1]) *Cavallo complete treatise.* 3. 99.

Digitized by Google

der Scheibe C genügend ist, wonach man die Scheibe D auf [348]
dem Schieber entfernt. Man sieht, dafs die Scheibe B die Rolle des Schildes am Elektrophore spielt, dessen Elektricität auf dem Condensator CD angesammelt wird. Doch wird diese Ansammlung ihre Gränze finden, da die Elektricität von B immer schwächer wird, und zuletzt nicht mehr auf die Scheibe C überzugehen vermag. Dieser Duplicator ist daher weniger empfindlich als der früher beschriebene.

Aufser diesen beiden Duplicatoren sind andere sehr zu- 349
sammengesetzte und kostbare angegeben worden, deren Beschreibung ich übergehe. Man wird selten die Nöthigung haben, einen Duplicator anzuwenden, da alle damit bisher gewonnenen Resultate sich an anderen Apparaten gewinnen lassen. Aufserdem führen die Duplicatoren leicht zu Irrungen, da von ihnen häufig Elektricität angezeigt wird, die theils im Locale der Versuche, theils im Instrumente selbst hervorgerufen ist. Ehe man ein solches Instrument gebraucht, mufs man sich überzeugen, dafs an dem Orte der späteren Untersuchung alle Bewegungen desselben, die zu der gewünschten Vervielfältigung nöthig sind, ausgeführt werden können, ohne dafs Elektricität angezeigt wird. Jedenfalls mufs nach der Prüfung einer Elektricität am Duplicator eine geraume Zeit gewartet werden, ehe man zu einer zweiten Prüfung schreitet, da bei aller Vorsicht stets Elektricität im Apparate zurückbleibt, die sich nicht sogleich entfernen läfst.

Der Ladungsapparat.

Der Ladungsapparat ist ein Ansammlungsapparat, dem 350
wir eine beliebige Elektricitätsmenge bis zum Maximum geben können, während dies Maximum durch den Apparat selbst bestimmt wird. Die zur Ladung angewandte Elektricitätsquelle mufs daher in einzelnen Stöfsen wirksam werden und Elektricität von beliebiger Dichtigkeit liefern. Besitzt nämlich diese Quelle an dem Punkte, mit dem sie den Ladungsapparat berührt, eine bestimmte Dichtigkeit, die dem Apparate noch nicht die geforderte Elektricitätsmenge giebt, so mufs die Dichtigkeit gesteigert werden. Diese Bedingung wird von dem

Digitized by Google

[350] Conductor der Elektrisirmaschine erfüllt, wenn die Kraft dieser Maschine der Ansammlungsfähigkeit des Apparates angemessen ist. Wie das Maximum der aufzunehmenden Elektricitätsmenge durch den Apparat selbst bestimmt wird, ist §. 318 durch ein Beispiel angegeben worden. Es sei allgemein D die Dichtigkeit, welche der zuerst ausströmende Punkt der Collectorscheibe nicht überschreiten darf, und Q die Elektricitätsmenge, die dabei die ganze Scheibe enthält, wenn sie allein steht, M hingegen die Menge auf der Scheibe, wenn ihr die Condensatorscheibe nahe steht. Bezeichnen d und d' die Dichtigkeiten dieses Punktes bei den beiden Stellungen der Scheibe, wenn ihr irgend eine Elektricitätsmenge q gegeben ist, so hat man

$$q : Q = d : D$$
$$q : M = d' : D$$

und daher die Verstärkungszahl des Apparates $\frac{M}{Q} = \frac{d}{d'}$. In den Messungen §. 317 bis 327 ist das Verhältnifs $\frac{d'}{d}$ gegeben worden, von welchem die Verstärkungszahl der umgekehrte Werth ist.

351 Die Collectorplatte des Ladungsapparates wird *innere Belegung*, die Condensatorplatte *äufsere Belegung* genannt. Der Zweck des Apparates, grofse Elektricitätsmengen anzuhäufen, verbietet, die innere Belegung von der äufseren durch Luft zu trennen, durch welche sehr bald eine Ausgleichung der beiden angehäuften ungleichnamigen Elektricitäten stattfinden würde. Es werden die Belegungen an beiden Flächen einer starren isolirenden Platte angebracht und gewöhnlich, da der Apparat nicht auseinander genommen zu werden braucht, daran unverrückbar befestigt. Welche Veränderung der elektrischen Anordnung der beiden Schichten durch diese feste Verbindung zweier leitenden Platten mit einer isolirenden hervorgebracht wird, werde ich weiter unten angeben, nachdem die Einrichtung der gebräuchlichen Apparate dieser Art beschrieben worden ist.

352 Die Ladungsplatte. Franklin'sche Tafel[1]). Eine Tafel aus Fensterglas wird auf beiden Flächen mit Stanniol-

[1]) *Experim. and observat.* 28.

Digitized by Google

blättern bekleidet, so dafs überall am Rande ein zollbreiter [352]
Gürtel frei bleibt, der mit Siegellackfirnifs bedeckt wird. Jedes Stanniolblatt erhält einen Fortsatz durch einen in einen Ring endigenden Drath, durch den die innere Belegung mit der Elektricitätsquelle, die äufsere mit der Erde verbunden wird. Der Apparat kann um so mehr Elektricität fassen, je gröfser die Glasscheibe und daher die Belegung ist. Da aber grofse Glasplatten kostbar und schwer zu handhaben sind, so nimmt man mehrere Ladungsplatten, stellt sie in einem Rahmen hinter einander auf, und bringt durch einen Drath alle inneren, und durch einen andern alle äufseren Belegungen der Platten in Verbindung. Eine solche Vereinigung mehrerer Ladungsapparate heifst eine *Batterie,* die beschriebene eine Platten-Batterie.

Diese Batterie kann ebenso geladen werden, wie eine ein- 353
zelne Platte, indem man die Elektricitätsquelle an den Verbindungsdrath aller inneren Belegungen anlegt. Franklin hat die Ladung dadurch abzukürzen gesucht, dafs er eine *mittelbare Ladung* aller auf die erste Platte folgenden Platten bewerkstelligte. Wir haben gesehen (§. 298.), dafs wenn eine elektrisirte Scheibe auf eine isolirte Scheibe wirkt, letztere zwei elektrische Schichten erhält, eine von entgegengesetzter Elektricität, die der elektrisirten Scheibe zunächst, eine von gleichnamiger Elektricität, die jener am entferntesten liegt. Man verbinde also die äufsere Belegung der ersten Platte einer Batterie mit der inneren der zweiten, die äufsere der zweiten mit der inneren der dritten u. s. f.; endlich die äufsere Belegung der letzten Platte mit der Erde. Ist 1 die Elektricitätsmenge, die der inneren Belegung der ersten Platte gegeben wird, und bezeichnet $-m$ die Menge der in der äufseren Belegung der Platte erregten Influenzelektricität, so geht $+m$ auf die innere Belegung der zweiten Platte über. Diese Menge erregt in der äufseren Belegung der zweiten Platte $-m^2$, es geht daher $+m^2$ auf die innere Belegung der dritten Platte, und allgemein $+m^{n-1}$ auf die innere Belegung der $n$ten Platte. Durch unmittelbare Ladung der ersten Platte mit der Elektricitätsmenge $+1$ sind also n in der bezeichneten Weise verbundene Platten mit der Elektricitätsmenge

$$1 + m + m^2 \ldots\ldots + m^{n-1} = \frac{1 - m^n}{1 - m}$$

Digitized by Google

[353] geladen worden. Wäre z. B. $m = 0{,}911$ $n = 10$, so ist $\frac{1-m^n}{1-n} = 6{,}8$ die Elektricitätsmenge auf 10 Platten, wenn die erste die Menge 1 direct erhalten hat. Es wird sich später zeigen (§. 731.), dafs die wirklich angesammelte Elektricitätsmenge geringer ist. Vor der Entladung kann man die Drathverbindungen der Platten lösen und so ansetzen, dafs alle inneren Belegungen der Platten und ebenso alle äufseren mit einander verbunden werden. In der That gewährt die mittelbare Ladung keinen Vortheil, da sie eine viel wirksamere Elektrisirmaschine verlangt als die directe. Die Entladung der Batterie bei derselben Anordnung, die zu ihrer Ladung dient, wird an einer späteren Stelle betrachtet werden (§. 732.).

354 Je dünner die isolirenden Platten der Batterie sind, desto näher stehen die einzelnen Belegungen einander, und eine um so gröfsere Elektricitätsmenge kann angesammelt werden. Man hat daher bei Construirung einer Platten-Batterie auf dünne Glasscheiben zu sehen, darf darin aber nicht zu weit gehen, damit nicht die angehäufte Elektricität die Scheiben zersprenge. Stärkeren Widerstand gegen Durchbrechung, als Glas, leistet der Glimmer, der daher bedeutend dünner genommen werden kann. Nicholson[1]) construirte eine Batterie aus zwölf quadratischen Glimmerplatten, jede von 2,6 Zoll Seite und 0,0025 Dicke, die mit Stanniol bekleidet wurden. Die inneren Belegungen betrugen 48 Quadratzoll und der Verfertiger schätzt, freilich auf prekäre Weise, dafs sie soviel Elektricität zu halten vermochten, wie 960 Quadratzoll Belegungen von Fensterglasscheiben von $\frac{1}{20}$ Zoll Dicke. Glimmer ist schwer in der nöthigen Reinheit zu erhalten, und die Platten-Batterien sind überhaupt selten gebraucht worden, da die folgende Form des Ladungsapparates bei weitem mehr Bequemlichkeit gewährt.

355 Die Ladungsflasche. Leydener Flasche. Sie besteht aus einem hohlen Glascylinder mit flachem Boden, an dessen innerer Fläche die innere, an dessen äufserer Fläche die äufsere Belegung befestigt ist. Ein verticaler Metalldrath reicht bis an den Boden der Flasche, und berührt die innere

[1]) Gilbert Annalen.* 23. 274.

Digitized by Google

Belegung. Dies war der erste Ansammlungsapparat, an dem [355]
eine der erstaunlichen Wirkungen der angesammelten Elektricität erfahren wurde, die Erschütterung des menschlichen Körpers, der die Entladung der Flasche vermittelt. Es mögen deshalb einige Worte über die Entdeckung dieses noch jetzt am häufigsten angewandten und bequemsten Entladungsapparates gesagt sein. Am 11. October 1745 machte der Prälat von Kleist in Camin (Pommern) folgende elektrische Erfahrung, die er am 4. November dem Dr. Lieberkühn in Berlin mittheilte. Ein eiserner Nagel war in ein Medizinglăschen gesteckt, in dem sich einige Tropfen Alcohol oder Quecksilber befanden. Als der Nagel an dem Conductor einer Elektrisirmaschine elektrisirt und während des Elektrisirens mit der Hand berührt wurde, empfand der Berührende in Arm und Achsel einen heftigen Schlag [1]). Der Versuch gelang Anderen nicht, weil die Bedingung, dafs der, welcher den Schlag empfinden soll, die Flasche in der Hand halten mufs, von Kleist nicht erkannt, ja sogar noch am 12. Mai 1746 geläugnet wurde. Zu dieser Zeit war aber der Versuch mit vollständiger Angabe seiner Bedingungen schon an einem andern Orte bekannt gemacht.

Im Januar 1746 hatte nämlich ein Hr. Cuneus in Leyden 356
zufällig einen elektrischen Schlag erhalten, die Professoren Allaman und Musschenbroek wiederholten den Versuch mit Erfolg, und letzterer beschrieb ihn genau in einem Briefe an Réaumur in Paris [2]). An dem Ende des Conductors einer Elektrisirmaschine wurde ein Drath befestigt, der in eine mit Wasser gefüllte Glasflasche tauchte. Als die Maschine gedreht wurde und Musschenbroek, der die Flasche in der rechten Hand hielt, mit der Linken einen Funken aus dem Conductor zog, erhielt er einen so erschütternden Schlag, dafs er glaubte, es sei um ihn geschehen. Es wird ausdrücklich bemerkt, dafs nur Der den Schlag fühle, welcher die Flasche beim Funkenziehen in der Hand halte. Der Versuch machte so grofses Aufsehen, dafs er schon in den nächsten Monaten dem Publikum für Geld gezeigt wurde. — Es ist daher gewifs, dafs

[1]) Versuche u. Abhandl. d. naturforsch. Gesellsch. in Danzig.* 2. 408.
[2]) *Mém. de l'Acad. Par.* 1746.* 2.

Digitized by Google

[356] Herr v. Kleist die Wirkung einer Ladungsflasche zuerst erfahren hat, ihm jedoch die Bedingung verborgen blieb, diese Wirkung zu erhalten, und diese Bedingung erst in Leyden erkannt wurde. Demnach ist ein innerer Grund dafür vorhanden, dafs die Bezeichnung *Kleist'sche Flasche* wenig Eingang fand, und der Name *Leydener Flasche* gewöhnlich geworden ist. Die Theorie der Flasche, und damit die jedes Ansammlungsapparates, wurde von Franklin in einem 1. Sept. 1747 datirten Briefe [1]) gegeben.

357 Bei der Entdeckung der Flasche bildete die darin befindliche Flüssigkeit die innere, die Hand, mit welcher sie gehalten wurde, die äufsere Belegung derselben. Bevis ersetzte beide Belegungen durch Metallblättchen [2]), wie noch jetzt geschieht. Folgende ist daher die einfache Zusammensetzung des Apparates. Ein hohler Cylinder aus weifsem Glase mit flachem Boden und möglichst gleicher Glasstärke wird in- und auswendig mit Stanniol bekleidet, der mit Stärkekleister bestrichen, und fest an das Glas angedrückt wird. Beide Belegungen reichen bis $\frac{3}{4}$ der Cylinderhöhe hinauf, und lassen daher einen Glasring frei, der auf beiden Flächen mit Siegellackfirnifs bekleidet wird. Ein dicker Messingdrath mit einer Kugel am Ende bildet den Zuleitungsdrath der inneren Belegung. Der Drath geht durch die Mitte zweier Holzscheiben hindurch, die an ihrer unteren Fläche mit Stanniol bekleidet sind. Die untere Scheibe liegt auf dem belegten Boden der Flasche auf, die obere berührt den Rand der inneren Belegung und wird daselbst festgeleimt, oder besser gegen den Rand durch seitlich angebrachte Messingfedern gedrückt. Hierbei bleibt ein Theil der Flasche, vom Rande bis zur inneren Belegung, offen; wünscht man die Flasche geschlossen, so werden die Messingfedern allein an ihrer früheren Stelle an dem Zuleitungsdrathe, die Holzscheibe aber höher befestigt, so dafs diese als Deckel der Flasche dient. In diesem Falle darf die Scheibe nicht mit Stanniol bekleidet, sie mufs aus sehr trockenem Holze gefertigt, und mit einem gut isolirenden Firnisse bedeckt sein.

---

[1]) *Exper. and observ.** 12.

[2]) *Phil. transact.* 1748. *Watson account of exper.** *Lond.* 1748. 71.

Digitized by Google

Die Benutzung der leydener Flasche folgt aus den mit- 358
getheilten Messungen am Ansammlungsapparate. Die Kugel des Zuleitungsdrathes (*Knopf* der Flasche genannt) wird an eine Elektricitätsquelle angelegt, während die äufsere Belegung mit der Erde in Verbindung steht. Die letztere Bedingung bewirkt, dafs von den beiden elektrischen Schichten, welche die äufsere Belegung durch Influenz erhält, die der Elektricitätsquelle gleichnamige Schicht (Influenzelektricität zweiter Art) fortgeschafft wird, da nur hierdurch die Dichtigkeit am Knopfe der Flasche eine Verminderung erfährt, und eine Ladung der Flasche möglich ist. Eine vollkommen isolirte Flasche würde nur so viel Elektricität aufnehmen können, wie ihre innere Belegung allein. Dennoch nimmt eine an den Conductor der Elektrisirmaschine gehängte, oder auf einen Isolator gestellte, Flasche nach längerem Drehen der Maschine eine schwache Ladung an, weil weder Luft noch irgend ein Isolator vollkommen isolirt, und sich ein Theil der Influenzelektricität zweiter Art von der äufseren Belegung entfernt. Ebenso ist es erklärlich, dafs eine Flasche, deren äufsere Belegung einen leitenden Ansatz erhalten hat, sogleich eine Ladung bis zu einem gewissen Grade annimmt. Hier kann sich die Influenzelektricität zweiter Art bis zu einiger Weite von der erster Art entfernen, und hebt die Wirkung der letzteren auf die innere Belegung nicht vollständig auf. Entladet man den Ansatz, so kann eine neue Schicht Elektricität an die Stelle der fortgenommenen treten, und die Ladung der Flasche fortgesetzt werden.

Auf die letzte Bemerkung gründet sich das *Ladungsstativ*, 359
das zur Beurtheilung der in eine Flasche geführten Elektricitätsmenge dient. Ein Metallteller (Fig. 80.) mit einer seitlich gestellten Kugel ist auf einem Glasstabe isolirt, und eine zweite Kugel, die durch einen Schieber der ersten mefsbar genähert werden kann, ist zur Erde vollkommen abgeleitet. Die leydener Flasche wird auf den Teller gestellt, so dafs ihr Knopf dem Conductor der Elektrisirmaschine bis auf eine kleine Entfernung nahe kommt. Geht positive Elektricität in die Flasche, so geht die durch Influenz auf der äufseren Belegung erregte positive Schicht auf den Teller über, und die daran befestigte Kugel erlangt eine gewisse elektrische Dichtigkeit. Hat diese

Digitized by Google

[359] Dichtigkeit den Grad erreicht, den die Schlagweite zwischen den beiden Kugeln verlangt, so wird der Teller entladen, indem ein Funke zwischen den Kugeln erscheint. Durch fortgesetztes Elektrisiren wird der Teller wieder elektrisch, aufs Neue entladen u. s. f. Man hat also während der Ladung der Flasche an den Entladungen des Tellers ein Mittel, die Gröfse der Ladung zu schätzen, und kann die Flasche zu verschiedenen Zeiten leicht zu demselben Grade laden. Die Entfernung der Kugeln von einander nimmt man am besten nicht kleiner als 3 und nicht gröfser als 6 Linien.

360 Jede geladene Flasche enthält beide Elektricitätsarten, die eine auf der inneren, die entgegengesetzte auf der äufseren Belegung; letztere Art in geringerer Menge als die erste. Man bezeichnet die Ladung einer Flasche nach der Elektricität der inneren Belegung, so dafs also eine positiv geladene Flasche an ihrem Knopfe positiv elektrisch ist. Da an dem Conductor der beschriebenen Elektrisirmaschinen leicht die eine oder andere Elektricitätsart erhalten wird, so wird die positive und negative Ladung einer Flasche auf dieselbe Weise ausgeführt. Sonst kann man auch eine Flasche so laden, dafs ihre Elektricität der des Conductors entgegengesetzt ist, und Ladungen verschiedenen Namens an dem unveränderten Conductor erhalten. Man faſst nämlich die Flasche am Knopfe, und hält ihre äufsere Belegung an den Conductor, stellt sie sodann auf einen Isolator, und hebt sie ab, nachdem der Knopf freigelassen worden ist. — Eine Flasche verliert in gleicher Zeit desto weniger Elektricität durch Zerstreuung, je geringer der Zutritt der Luft zu ihrer inneren Belegung ist. Hierauf beruhen die sogenannten *Sperrflaschen*. Bei der einfachsten Art derselben geht durch den Holzdeckel der Flasche bis zum Boden eine enge Glasröhre, in welcher der Zuleitungsdrath der inneren Belegung steht. Man kehrt die Flasche nach der Ladung um, so dafs der Drath herausfällt, und läfst ihn wieder an seine Stelle gleiten, wenn man die Flasche gebrauchen will.

361 Die Entladung der Flasche wird herbeigeführt, indem man ihre äufsere Belegung durch einen Leiter mit der inneren zu verbinden sucht. Ehe die Verbindung eintritt, findet die Entladung statt, indem ein Funke zwischen den nächsten Punkten

Digitized by Google

der inneren Belegung und des angelegten Leiters übergeht. [361] Die Entfernung dieser Punkte, die Schlagweite, wird durch die Dichtigkeit an der inneren Belegung, also durch die Elektricitätsmenge der Flasche bestimmt (§. 334.). Man richtet eine Flasche leicht so ein, dafs ihre Entladung bei bestimmter Elektricitätsmenge eintritt. Eine solche, nach dem Erfinder benannte, *Lane'sche Flasche* besteht aus einer leydener Flasche (Fig. 81.), an deren Zuleitungsdrath ein gebogener Glasstab befestigt ist, der eine horizontale Hülse, und in dieser einen verschiebbaren, mit der äufseren Belegung verbundenen Metallstab mit einer Kugel trägt. Bei einer bestimmten Elektricitätsmenge in der Flasche, die dem Knopfe der Flasche eine bestimmte Dichtigkeit giebt, findet die Entladung zwischen beiden Kugeln statt. Da die Entfernung der Kugeln bei der Entladung proportional der Dichtigkeit am Knopfe, und diese proportional der in die Flasche geführten Elektricitätsmenge ist, so giebt die Lane'sche Flasche ein Mittel, bestimmte Elektricitätsmengen anzusammeln, bringt aber den Nachtheil, dafs man erst durch die Entladung erfährt, dafs die gewünschte Elektricitätsmenge erreicht sei, zu einer Zeit also, wo diese nicht mehr vorhanden ist. Wie diese Flasche zu gebrauchen sei, um während der Ladung einer leydener Flasche die in diese geführte Elektricitätsmenge zu messen, wird §. 386 gezeigt werden.

Dicke und Gröfse der leydener Flasche. Frühere 362
Versuche haben gezeigt, dafs die Verstärkungszahl eines Ansammlungsapparates bei kleinen Entfernungen der leitenden Platten nahe im umgekehrten Verhältnisse dieser Entfernungen steht (§. 320.). Die Ansammlung in der leydener Flasche wird daher nahe in dem Verhältnisse zunehmen, in welchem die Glasdicke abnimmt, und Cavendish hat dies thatsächlich aufgezeigt [1]). Man darf indefs nicht zu dünnes Glas zur Flasche anwenden, weil sich die angehäuften Elektricitätsmengen sonst leicht einen Weg durch das Glas bahnen und es zersprengen. — Mit der Gröfse der Belegung der Flasche nimmt die Ansammlung zu, sowol weil eine Platte mit zunehmender Gröfse

[1]) *Phil. transact.* 1776.* 196 *ff.*

Digitized by Google

[362] mehr Elektricität aufnimmt, als auch weil zu gleicher Zeit die Verstärkungszahl der Flasche wächst (§. 326.). Man giebt bei den Flaschen den Flächeninhalt der inneren Belegung an, und construirt sie gewöhnlich von $\frac{1}{2}$ bis 3 Quadrat-Fuſs Belegung. Wenn man mit Einer Flasche nicht ausreicht, verbindet man eine Anzahl derselben zu einer *Batterie*, indem man alle Knöpfe und alle äuſseren Belegungen leitend unter einander verbindet. Hierbei wird die Ansammlung nicht durch Vergröſserung der Verstärkungszahl vermehrt, sondern allein durch Vergröſserung der Fläche, welche die Elektricität aufnimmt. Batterien verschiedener Flaschenzahl, wenn auch gleich groſser Oberfläche, vertragen daher keine gleich groſse Elektricitätsmenge. So wird eine Batterie von zwei Flaschen, von welchen jede $1\frac{1}{2}$ Quadr.-Fuſs Belegung hat, mit gröſserer Elektricitätsmenge geladen werden können, als eine Batterie von drei Flaschen mit 1 Quadr.-Fuſs Belegung. Doch kommt dies selten in Betracht, da man, der Gefahr des Zerspringens wegen, die Batterie nicht gern mit der ganzen Menge ladet, die sie zu halten vermag. Da die elektrischen Flaschen-Batterien von hier an häufig gebraucht werden, so will ich die Einrichtung der von mir angewandten Batterien beschreiben.

363 Die elektrische Batterie. 25 Flaschen, jede von $1\frac{1}{2}$ Quadr.-Fuſs Belegung, stehen in fünf Reihen in einem Gestelle, dessen Boden mit Stanniol überzogen, und durch 4, einen Fuſs lange, Glasfüſse isolirt ist. Die Knöpfe der Flaschen sind durch Dräthe, die einzeln gelöst werden können, mit einander leitend verbunden. Später wurde eine Reihe dieser Batterie einzeln aufgestellt, welche Fig. 82 zeigt. Das Gestell ist 7 Zoll breit, 27 Zoll lang, der Boden desselben ist mit einer Messingplatte bedeckt, von der als Fortsatz eine Druckschraube sichtbar ist, in welcher ein Verbindungsdrath geklemmt werden kann. Die Knöpfe der möglichst gleichen Flaschen sind durchbohrt und je zwei Flaschen, die auf einander folgen, werden durch einen durchgesteckten, 4 Zoll langen, $2\frac{1}{2}$ Lin. dicken Messingstab mit einander verbunden. Man kann daher leicht 1 bis 5 Flaschen benutzen. Hat man eine Batterie aus mehreren solcher Reihen zusammengesetzt, so kann mit Bequemlichkeit die mittelbare Ladung (§. 353.) ausgeführt werden,

Digitized by Google

indem man einen Knopf der zweiten Reihe mit der Druck- [363]
schraube der ersten durch einen Drath verbindet, einen Knopf der dritten Reihe mit der Druckschraube der zweiten u. s. f. und den Conductor der Elektrisirmaschine an einen Knopf der ersten Reihe anlegt. — Eine so zusammengesetzte Batterie, die nach ihrem Erfinder *Franklin'sche Batterie* genannt wird, ist in Fig. 82[a.] abgebildet.

Zu schneller Aenderung der Flaschenzahl ist die folgende Einrichtung der Batterie bequem (Fig. 83.). Auf einer mit Stanniol überzogenen, auf Glasfüfsen stehenden Holzscheibe von 27 Zoll Durchmesser, sind 7 Flaschen von 2,6 Quadr.-F. Belegung aufgestellt. Die 6 an der Peripherie der Scheibe stehenden Flaschen tragen *f* förmige um Kugelgelenke drehbare Fortsätze, durch welche sie mit der Kugel der mittleren Flasche verbunden werden können. Diese Kugel hat einen Durchmesser von 4 Zoll und ist an den Stellen, wo die Fortsätze der übrigen Flaschen die Kugel berühren, halbkugelig ausgeschliffen. Von derselben Kugel geht ein gebogenes Metallrohr nach aufsen und unten zur Verbindung der Batterie mit einem Entladungsapparate. An der Fufsplatte ist eine Klemmschraube angebracht, um diese Platte und damit die äufseren Belegungen der Flaschen mit einer Maafsflasche (§. 386.) zu verbinden. Zur Ladung dieser Batterie geht von dem Conductor der Elektrisirmaschine ein langer um ein Kugelgelenk drehbarer Metallarm aus (§. 283.), dessen Ende die grofse Kugel der Batterie berührt. Ist die Ladung vollendet, so hebt man mittels einer seidenen, über eine Rolle laufenden, Schnur das Ende des Metallarmes einige Zoll hoch auf, und unterbricht dadurch die Verbindung der Batterie mit der Maschine.

Entladungsapparat. Um eine Flasche oder Batterie 364
zu entladen, mufs man aus Leitern einen Schliefsungsbogen bilden, der die äufsere Belegung mit der inneren verbindet. Ist die Zusammensetzung des Schliefsungsbogens nicht durch den Versuch selbst bestimmt, genügt es eine Entladung herbeizuführen, so bedient man sich dazu der Fig. 84 abgebildeten Zange. An einem dicken Glasstabe ist ein Kugelgelenk befestigt, das zwei in Messingkugeln endigende Zinken verbindet. Die gebogene Zinke besteht aus Messing, die gerade

Digitized by Google

[364] aus einem etwa 8 Zoll langen gefirnifsten Glasstabe, um den ein 9 Fufs langer 0,052 Lin. dicker Platindrath gewunden ist, der die Metallkugel des Endes mit dem Kugelgelenke verbindet. Dieser Drath verhindert die Beschädigung des Stanniols der Flaschen bei der Entladung, die dadurch herbeigeführt wird, dafs man die eine Kugel der Zange an die äufsere, die andere an die innere Belegung anlegt. Das Gelenk der Zange erlaubt, die Kugeln für verschieden grofse Flaschen in die passende Entfernung von einander zu stellen.

365 Bei genauen Versuchen, durch die eine Wirkung der Entladung gemessen werden soll, genügt diese mit der Hand regierte Zange nicht, weil die Schlagweite der Batterie von dem Punkte der inneren Belegung abhängt, dem der Schliefsungsbogen am nächsten kommt, und dieser Punkt unverändert bleiben mufs. Man bildet alsdann das Ende des Schliefsungsbogens stets durch einen eigenen Apparat, der vorzugsweise *Entladungsapparat* genannt wird (Fig. 85.). Auf einem gefirnifsten Glasstabe steht eine 20 Lin. dicke Metallkugel, die durch einen angelötheten Zapfen und eine vorgeschraubte Mutter mit dem von der Batterie herabgehenden Metallrohre (§. 363.) fest verbunden wird. Eine zweite massive Kugel, 15 Linien dick, ist an dem Ende eines 9 Zoll langen $3\frac{1}{3}$ Linien dicken Messingstabes befestigt, der sich um ein auf einem Glasfufse stehendes Kugelgelenk dreht. In der gezeichneten Lage, wobei die Kugeln $2\frac{1}{2}$ Zoll von einander stehen, wird der Stab durch einen verticalen Schieber gehalten, der durch eine Feder in die Höhe gedrückt, hinter einen Vorsprung des Stabes eingreift. Der Schieber kann durch eine Schnur, die über eine am Fufsbrette des Apparates liegende Rolle läuft, zurückgezogen werden; am bequemsten geschieht dies durch einen Hebel, der mit dem Fufse niedergedrückt wird. Dadurch wird der Stab mit der schweren Kugel frei, dreht sich um das Kugelgelenk, und entladet die Batterie, wenn die beiden Kugeln in die bestimmte Entfernung von einander gekommen sind. Damit auch der Rückstand der Batterie entfernt werde, mufs die bewegliche Kugel an der Stelle, wo sie die feste berührt, kugelig ausgeschliffen sein. Um die Batterie aufs Neue zu laden, dreht man den Stab in die Höhe, bis der Schieber eingreift. An dem

Digitized by Google

Kugelgelenke ist seitlich eine Druckschraube angebracht, für [365]
den Drath, der den Entladungsapparat mit dem folgenden Theile
des Schliefsungsbogens verbindet.

Dieser zunächst folgende, vielfach veränderliche, Theil 366
wird seiner Nützlichkeit wegen der *allgemeine Auslader* (auch
Henley's Auslader) genannt (Fig. 86.). Zwei 7 Zoll lange
3 Linien dicke Messingstäbe (Arme des Apparates genannt)
sind gegen einander verschiebbar in Hülsen, die durch Gelenke
mit verticalen, auf Glasstäben isolirten, Büchsen verbunden
sind. Nachdem die Arme in beliebige Entfernung (bis 10 Zoll)
von einander gestellt, und die Hülsen durch Schrauben ange-
zogen sind, können sie durch die Gelenke um eine horizontale,
durch die Büchsen um eine verticale Axe gedreht werden.
An den Kern der Büchsen sind Druckschrauben gelöthet, von
welchen die eine *a* mit dem Entladungsapparat, die andere *b*
mit dem übrigen Theile des Schliefsungsbogens durch einen
Drath verbunden wird. Zwischen die Arme werden die Stücke
gebracht, an welchen man die Wirkung der Entladung beob-
achten will; die Enden der Arme sind dazu mit einem Schrau-
benzuge versehen, an welchen verschiedene Befestigungsstücke
geschraubt werden. Um Platten oder feine Dräthe in genau
abgemessener Länge befestigen zu können, setzt man an jeden
Arm die in Fig. 87 abgebildete *Kegelklemme f* an. Diese be-
steht aus einem hohlen und einem massiven Kegel, letzteren
in der Richtung der Axe aufgeschnitten und aufgebogen. Der
massive Kegel endigt mit einer Schraubenspindel, der hohle
mit einer dazu gehörigen Mutter. Durch Ineinanderschrauben der
beiden Kegel wird der Schlitz des massiven Kegels zusammen-
gedrückt, und der darin liegende Drath fest geklemmt. Die
Länge dieser Klemme wird nach dem Bedarfe 4 bis 8 Linien
genommen. Für gewisse Versuche bequemer ist die *Feder-
klemme g* (Fig. 87.), die den Drath in einer Spalte festhält,
die durch eine seitliche Schraube geöffnet wird. Zu dem Aus-
lader gehören ferner Druckschrauben (in Fig. 86 an den Ar-
men befestigt), gerade und im Winkel gebogene Spitzen, und
eine Glasröhre (Fig. 88.). Diese Röhre füllt den Raum zwi-
schen den so weit als möglich zurückgezogenen Armen aus,
und ist an jedem Ende mit einer Metallfassung versehen, an

Digitized by Google

[366] der äufserlich ein Drath, innerlich eine Spitze festgelöthet ist. Die eine Fassung ist auf die Röhre geschraubt, um diese mit einer Flüssigkeit füllen zu können.

367 Einfluſs des starren Isolators zwischen den Belegungen der Flasche. Die Wirkung einer leydener Flasche hängt von der Glassorte ab, aus der die Flasche gefertigt ist. Dies ist von Anfang an bemerkt worden. Musschenbroek verlangte deutsches oder böhmisches Glas zu seinem berühmten Versuche, und warnte vor dem holländischen, noch mehr vor dem englischen Glase [1]); Wilcke giebt an, daſs weifses Glas dünner sein müsse, als grünes, um bei gleicher Belegung dieselbe Ladung zu erlauben [2]); Cuthbertson fand zwischen verschiedenen Sorten weifsen oder grünen Glases eine groſse Verschiedenheit der Elektricitätsmenge, welche dieselbe Flächengröſse bei gleicher Ladung aufgenommen hatte [3]). Daſs eine Flasche, welche in ihrer Masse oder über die Oberfläche des Randes hin die Elektricität leitet, nicht geladen werden könne, leuchtet sogleich ein, aber weshalb Flaschen von verschiedenem Glase verschieden groſser Elektricitätsmengen bedürfen, um an einem gleich gelegenen Punkte des Zuleitungsdrathes dieselbe Dichtigkeit zu zeigen, bedarf einer näheren Betrachtung, die über die Rolle überhaupt, welche die starren Isolatoren am Ansammlungsapparate übernehmen, Aufklärung geben wird.

368 Wir hatten bei dem einfachen Ansammlungsapparate zwei leitende, durch Luft von einander geschiedene, Platten, und auf diesen die ungleichnamig elektrischen Schichten, welche die Wirksamkeit des Apparates bedingen. War die Luft zwischen den Platten durch einen starren Isolator ersetzt (Glas, Taft, Firniſs), so sollte durch ihn eine kleine Entfernung der Platten dauernd erhalten, und der Uebergang von Elektricität von einer Platte zur andern verhindert werden (§. 343.). In dieser nur passiven Weise wirkt aber der Isolator nur für Elektricität von sehr geringer Dichtigkeit, z. B. bei dem Con-

[1]) *Mém. de l'acad. Paris.* 1746.* 8

[2]) Abhandlungen d. schwed. Akad. 1777.* 245.

[3]) Gilbert Annalen.* 3.27.

Digitized by Google

densator; erlangt die Elektricität im Apparate eine gröfsere [368]
Dichtigkeit, so übernimmt der Isolator zugleich die Rolle seiner Belegungen, wie der folgende Versuch lehrt. Franklin[1]) nahm eine gut isolirende Glasplatte, und brachte auf jede ihrer Flächen eine Bleiplatte von geringerer Gröfse, construirte also eine Ladungsplatte mit beweglichen Belegungen. Nachdem der Apparat in gewöhnlicher Weise elektrisirt war, nahm er die Belegungen fort, entlud sie, und setzte sie wieder an ihre Stelle. Der Apparat gab bei der Entladung durch den Entladungsschlag zu erkennen, dafs ihm die temporäre Entfernung und Entladung seiner Belegungen seine Ladung nicht genommen hatte. Es folgt hieraus, dafs die Glasplatte allein die mitgetheilte elektrische Schicht auf einer, die durch Influenz erregte auf der andern Fläche enthielt, also für sich einen Ansammlungsapparat darstellte. Dies Vermögen einer isolirenden Platte, Elektricität durch Mittheilung und durch Influenz anzunehmen, ist übrigens bereits bei der Ladung des Elektrophorkuchens durch Elektrisirung des aufgesetzten Schildes (§. 297.) thatsächlich nachgewiesen worden.

Dadurch, dafs die isolirende Platte die beiden elektrischen 369
Schichten auf ihren entgegengesetzten Flächen aufnimmt, werden die diese Flächen deckenden Metallbelegungen keineswegs überflüssig. Ohne diese würde es nicht möglich sein, alle Punkte der isolirenden Fläche gleichzeitig mit Elektricität zu versehen, oder von ihnen die Elektricität fortzunehmen. Es dienen also die Belegungen der leydener Flasche zur Ladung und Entladung der Flasche, aufserdem aber nehmen sie, wenn, wie gewöhnlich, durch ein Bindemittel mit dem Glase verbunden, auch einen Theil der angehäuften Elektricitäten auf. Eine Folge des Uebergehens der Elektricität an das Glas ist sogleich klar. Es seien nur die Belegungen der Flasche vorhanden, und zwischen ihnen befinde sich Luft; die Verstärkungszahl der Flasche ist durch die Entfernung der beiden elektrischen Schichten, also durch die der Belegungen bestimmt. Füllt man nun den Zwischenraum mit Glas oder einem andern starren Isolator aus, so gehen die elektrischen Schichten auf diesen über, kommen einander näher,

[1]) *Exper. and observat.* 27.

Digitized by Google

[369] und die Verstärkungszahl wird gröfser sein. Der zwischen die Platten des einfachen Ansammlungsapparates eingeschaltete starre Isolator dient also dazu, die Wirksamkeit des Apparates bei Anhäufung der Elektricität zu *verstärken*. Es hat sich gefunden, dafs diese Verstärkung verschieden nach der Substanz des Isolators ist, eine andere je nachdem dazu Schwefel, Schellack, Glas gebraucht wird. Dieser Umstand zeigt, dafs die elektrischen Schichten in verschiedene Tiefe der Substanz eindringen, und gegen einander, trotz gleicher Dicke der angewandten Platten, in verschiedene Nähe treten. Man hat diese Eigenschaft der starren Isolatoren verschieden benannt (Capacität, Durchdringlichkeit, specifisches Inductionsvermögen), und in neuester Zeit darüber umständliche Versuche angestellt. Obgleich diese Versuche keine genauen Zahlenwerthe zulassen, und selbst im Allgemeinen, wegen des veränderlichen Zustandes der Substanzen, nur eine beschränkte Gültigkeit haben, so theile ich sie mit, da sie in Bezug auf den Mechanismus der leydener Flasche belehrend sind.

370 Faraday[1]) construirte den in Fig. 89 abgebildeten Apparat, in dem man eine leydener Flasche erkennt, deren isolirender Zwischenkörper gewechselt werden kann. Die hohle Messingkugel *h* von 2,33 Zoll Durchmesser ist mittels eines Drathes, der in eine Kugel *B* endigt, und durch den Schellackcylinder *ll* isolirt ist, in der Mitte der hohlen Messingkugel *aa* befestigt. Die Kugel *aa* hat 3,57 Zoll Durchmesser, besteht aus zwei Halbkugeln, die luftdicht zusammengeschraubt sind, und setzt unterhalb in den durchbohrten, mit dem Hahne *d* versehenen, Metallfufs fort, der auf eine Luftpumpe geschraubt werden kann. Es waren zwei ganz gleiche Exemplare dieser Flasche vorhanden, von welchen das eine Luft gewöhnlicher Dichte, das andere verdünnte Luft, eine Gasart oder einen starren Isolator zwischen den beiden Kugelflächen enthielt, die als Belegungen der Flaschen dienten.

371 Die beiden Flaschen wurden auf eine leitende Unterlage gestellt, die eine mit einer beliebigen Elektricitätsmenge geladen, und von dieser ein Theil in die andere Flasche geführt,

[1]) *Exper. researches.* al. 1188—1294.

Digitized by Google

indem die Knöpfe beider Flaschen auf einen Augenblick durch [371]
einen leitenden Stab verbunden wurden. Mit Hülfe einer Prüfungskugel und der Torsionswage wurden wesentlich drei Dichtigkeiten gemessen: die Dichtigkeit an dem Knopfe der zuerst elektrisirten Flasche, ehe und nachdem sie mit der andern in Verbindung gesetzt war, und die Dichtigkeit an dem Knopfe der durch die Verbindung elektrisirten Flasche. Zur Correction der Messungen wurde an jedem Knopfe noch die Dichtigkeit nach Entladung der Flaschen bestimmt. Aus den drei ersten Messungen ist das Verhältnifs der Elektricitätsmengen zu berechnen, welche die beiden Flaschen zu halten vermochten. Es bezeichne E die beliebige Elektricitätsmenge, die der ersten Flasche gegeben wurde, $E - e$ die Menge welche sie nach Verbindung mit der zweiten Flasche behielt, respectiv A und a die Dichtigkeiten ihres Knopfes bei beiden Ladungen, endlich M die Elektricitätsmenge, welche die Flasche zu halten vermochte. Ferner sei b die Dichtigkeit am Knopfe der zweiten Flasche und N die Elektricitätsmenge, die sie halten konnte. Jede Flasche wird so lange Elektricität aufnehmen können, bis die Dichtigkeit ihres Knopfes den bestimmten Werth D erreicht hat. Da in jeder Flasche die darin befindlichen Elektricitätsmengen im Verhältnisse der Dichtigkeiten eines Punktes stehen, so hat man für die erste Flasche, als sie die Menge E enthielt

$$E : M = A : D$$

und nach der Theilung, als sie $E - e$ enthielt

$$E - e : E = a : A$$

Für die zweite Flasche, welche die Elektricitätsmenge e besitzt

$$e : N = b : D$$

Eliminirt man die unbekannten Gröfsen E, e, D aus diesen Gleichungen, so kommt für das Verhältnifs der Elektricitätsmengen, welche die Flaschen zu halten vermögen

$$\frac{N}{M} = \frac{A - a}{b}$$

Bei identischen Flaschen wird $\frac{N}{M} = 1$ gefunden werden müssen.

Digitized by Google

372 Nachdem Faraday sich überzeugt hatte, dafs, wenn beide Flaschen mit Luft gefüllt waren, $\frac{N}{M}$ nahe 1, die Flaschen also gleich waren, liefs er die eine Flasche ungeändert, während in die andere verdünnte Luft oder, nach ihrer Exantlirung, eine Gasart gefüllt worden. Er versuchte so die Gase von Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Arsenwasserstoff, Schwefelwasserstoff, Stickstoffoxydul, Kohlenoxyd, Chlorwasserstoff, Fluorkiesel; ferner Kohlensäure, ölbildendes Gas, Salpetergas, schweflige Säure und Ammoniak. Ueberall fanden sich die Elektricitätsmengen, welche die mit Luft und die mit einer Gasart gefüllte Flasche zu halten vermochte, nahe gleich, woraus zu schliefsen ist, dafs jede Flasche einen einfachen Ansammlungsapparat darstellte, in welchem die Ansammlung nur von der Entfernung, Gröfse und Form der einander gegenüberstehenden Scheiben abhängt (§. 315.). Die Versuche sind bemerkenswerth, weil sie zeigen, dafs die genannten Gase, wenn sie, wie hier, gut ausgetrocknet angewendet werden, Isolatoren der Elektricität sind.

373 Es wurde nun zur Prüfung fester Isolatoren geschritten, von der ich einige Beispiele anführe. In die untere Halbkugel der einen Flasche wurde eine halbkugelförmige Schale von reinem Schellack gelegt, die den unteren Theil des Zwischenraumes *o o* (Fig. 89.) fast ganz ausfüllte. Die andere Flasche blieb mit Luft gefüllt und wurde geladen. Nachdem die Dichtigkeit an der Kugel *B* der Luftflasche mit der Prüfungskugel gemessen war, wurde die Ladung der Luftflasche der Schellackflasche mitgetheilt, und die Dichtigkeit von *B* an beiden Flaschen bestimmt. Die Bestimmung der letzten beiden Dichtigkeiten wurde wiederholt, nachdem die Flaschen einzeln entladen waren. Folgende sind die der Reihe nach ermittelten Torsionen:

	Schellackflasche.	Luftflasche.
		297°
	Ladung getheilt.	
	113	
		121
nach Entladung	0	7

Da nach Entladung der Luftflasche sich noch eine Dichtigkeit von 7° auf ihrem Knopfe vorfand, die also nicht den

Digitized by Google

Belegungen zugehört haben kann, so sind 7° von den beob- [373]
achteten Torsionen abzuziehen. Man hat (§. 371.) $A = 290$ $a = 114$ $b = 113$ und damit $\frac{N}{M} = 1{,}55$, wo N das Maximum der Elektricitätsmenge der zuletzt geladenen (Schellack-) Flasche, M das der Luftflasche bedeutet. Es ist dabei zu bemerken, dafs die Schellackflasche nur zwischen der Hälfte der Belegungen Schellack enthielt, und dafs daher das Verhältnifs der Elektricitätsmengen, die sie und die Luftflasche zu halten vermochten, noch bedeutend gröfser sein würde, wenn die Belegungen gänzlich durch Schellack getrennt gewesen wären.

Ein zweiter Versuch, bei dem die Schellackflasche zuerst 374
geladen wurde, gab folgende Werthe:

	Schellackflasche.	Luftflasche.
	204	
	Ladung getheilt.	
		118
	118	
nach Entladung	0	0

Hier ist $A = 204$ $a = b = 118$ und M gehört zu der (zuerst geladenen) Schellackflasche. Das Verhältnifs $\frac{M}{N} = 1{,}36$ zeigt wiederum das Uebergewicht der Schellack- über die Luftflasche. In gleicher Weise prüfte Faraday Flintglas, Schwefel und Wallrath, und die isolirenden Flüssigkeiten Terpenthinöl und Steinöl; überall fand sich dafs die Flasche, mit diesen Substanzen gefüllt, mehr Elektricität halten konnte, als die Luftflasche. Ich übergehe die Zahlenwerthe, denen keine allgemeine Gültigkeit beigelegt werden kann, da die Zwischenlagen zwischen den Belegungen der Flasche niemals vollständig, zuweilen sogar nur mit Einer Belegung in Berührung waren.

Rückstand der Ladung. Eine leydener Flasche, die 375
durch momentane Verbindung ihrer Belegungen entladen wird, deren innere Belegung also nach der Entladung gleich wieder isolirt ist, zeigt nach kurzer Zeit eine zweite, obgleich viel schwächere Ladung, die *Rückstand* der Ladung genannt wird. Nimmt man den Rückstand durch Entladung fort, so zeigt sich bald wieder ein zweiter Rückstand, der schwächer als

Digitized by Google

[375] der erste ist und so fort. An einem empfindlichen Elektroskope läfst sich eine grofse Zahl solcher Rückstände aufweisen. Es zeigt sich hierdurch, dafs die metallischen Belegungen der Flasche ihre Bestimmung, die Elektricität von dem zwischen ihnen befindlichen Isolator fortzunehmen, nur unvollkommen erfüllen, und dafs ein Theil der in die Masse des Isolators eingedrungenen Elektricität sich erst mit der Zeit davon losmachen kann. Ebenso aber ist Zeit nöthig, bis die Elektricität tiefer in diese Masse eindringt, und man findet daher einen desto gröfseren Rückstand, je länger die Flasche *geladen* geblieben ist, ehe sie entladen wurde.

376 Es leuchtet ein, dafs an einem Ladungsapparate mit luftförmiger Zwischenlage kein Rückstand bleiben kann, und dafs dieser überhaupt von der Natur des starren Isolators zwischen den Belegungen abhängig sein mufs. Faraday hat dies thatsächlich nachgewiesen [1]); der Rückstand an seiner Luftflasche (§. 370.) rührte von dem Schellackcylinder her, der den Zuleitungsdrath hielt, er fand den Rückstand am gröfsten, wenn Wallrath, kleiner wenn Schellack, am geringsten wenn Schwefel oder Glas sich zwischen den Belegungen seiner Flasche befand. Auch von der mehr oder weniger innigen Befestigung der Belegungen an dem Glase ist der Rückstand abhängig, so dafs dieser, wenn möglichst wenig Bindemittel zwischen Stanniol und Glas der Flasche sich befindet, gegen die entladene Elektricitätsmenge stets unbedeutend klein bleibt.

Elektroskopische Anzeige der Ladung.

377 Wenn eine einfache leitende Fläche an ein Elektroskop angelegt wird, so giebt das Instrument an, ob die Fläche mit Elektricität versehen ist oder nicht. Steht der Fläche hingegen eine andere nicht mit ihr leitend verbundene Fläche nahe,

---

[1]) *Exper. researches.* al. 1234 *ff.*

Digitized by Google

so ist dies nicht unbedingt der Fall. Es könnte die Fläche [377]
einer Condensatorplatte zugehören, und ein Punkt derselben an das Elektroskop angelegt sein, dessen Dichtigkeit Null ist, so würde das Elektroskop unbewegt bleiben, obgleich die Fläche Elektricität enthält. Das Elektroskop zeigt also unmittelbar an, ob eine Fläche einfach elektrisirt, nicht aber ob sie *geladen* sei, welche Bezeichnung im engeren Sinne für die Elektrisirung eines Leiters gebraucht wird, der in der Nähe eines andern Leiters steht. Es mufs eine zusammengesetzte Prüfung angestellt werden, um die Ladung eines Körpers am Elektroskope zu erkennen. Diese Prüfung folgt sogleich aus den früheren Versuchen am Ansammlungsapparate, und ist bereits gelegentlich ausgeführt worden.

Es sei der einfache Ansammlungsapparat (Fig. 74.) ge- 378
geben, der zur Messung der Influenzelektricitätsmenge benutzt worden ist (§. 327[a]). An der Collectorscheibe, die mit A bezeichnet sein soll, und an der Condensatorscheibe B sind normal Zuleitungsdräthe befestigt, deren Enden bezüglich a und b sind. Die Scheibe A habe die positive Elektricitätsmenge 1 erhalten, die Scheibe B sei für einen Augenblick ableitend berührt worden. Es ist gezeigt worden, dafs das Ende a eine bestimmte elektrische Dichtigkeit besitzt, das Ende b hingegen unelektrisch ist. Eine Prüfungskugel oder ein Elektroskop an a angelegt, wird also positive, an b angelegt, keine Elektricität anzeigen. Nun werde a ableitend berührt: da die Scheibe B die Elektricitätsmenge $-m$ durch Influenz erhalten hat, so ist der Fall ganz derselbe, als ob wir der Scheibe B die Menge $-m$ direct gegeben und dabei A ableitend berührt hätten. Letztere wird also die Menge $+m^2$ durch Influenz erhalten, und das Elektroskop an b angelegt, wird negative, an a angelegt, keine Elektricität anzeigen. Berühren wir nun wieder b ableitend, so wird dies Ende unelektrisch, das Ende a wieder positiv erscheinen. Es kommen daher an den Scheiben durch abwechselnde Berührung folgende Elektricitäten zur Anzeige:

Digitized by Google

[378]

		Scheibe *A* angezeigte Elektr.	Scheibe *B*
nachdem *B*	berührt worden	$+1$	0
- *A*	-	0	$-m$
- *B*	-	m^2	0
- *A*	-	0	$-m^3$
- *B*	-	m^4	0
- *A*	-	0	$-m^5$

Dies wird so lange dauern, bis die Elektricitätsmenge zu schwach geworden ist, um das Elektroskop zu bewegen.

379 Um also die Ladung eines Körpers am Elektroskope nachzuweisen, mufs man eine Fläche des Körpers an das Instrument anlegen, während oder nachdem die ihr entgegenstehende Fläche ableitend berührt worden ist, dann aber mit Vertauschung beider Flächen den Versuch wiederholen. Kommt in beiden Fällen keine Elektricität zur Anzeige, so ist man zu dem Ausspruche berechtigt, dafs in Bezug auf die Empfindlichkeit des Elektroskops, der Körper nicht geladen sei. — Sehr viele Körper bilden natürliche Ansammlungsapparate, und können daher geladen werden. So alle Isolatoren in Plattenform, an welchen zwei Flächen nahe einander parallel gegenüberstehen. Hierbei wird aber die zur Nachweisung der Ladung nöthige Ableitung der einen Fläche erschwert, da ein berührender Leiter nur den Berührungspunkt unelektrisch macht. Ich habe deshalb in einem solchen Falle, bei Untersuchung des Elektrophorkuchens (§. 300.), das Bestreichen mit einer Flamme in Anwendung gebracht, und danach die Ladungserscheinung am Elektroskope hervortreten gesehen.

380 Leichter ist die Ladung nachzuweisen an Halbleitern, bei welchen eine Fläche durch stellenweise Berührung unelektrisch gemacht wird, und die entgegenstehende Fläche dennoch von der ersten hinlänglich isolirt ist. Am vollkommensten geschieht dies durch Aufschichtung von Halbleitern, wobei die dazwischenliegende Luft die Isolation bedingt, oder durch abwechselnde Lagen von guten und schlechten Leitern, wie z. B. von Papier und Metallscheiben. Eine trockene Säule (§. 13.), die unwirksam geworden, selbst Elektricität zu erzeugen, bildet

Digitized by Google

einen Körper, der sich sehr gut laden läfst, indem man das [380]
eine Ende in der Hand hält, das andere an den (positiv) elektrischen Conductor einer Elektrisirmaschine anlegt. Noch geraume Zeit nachher giebt das angelegte Ende einem Elektroskope positive Elektricität ab, das andere negative, wenn man das erste ableitend berührt. Eine solche Säule ist als eine Batterie von Ladungsplatten zu betrachten (§. 352.), die mittelbar geladen werden. Besteht eine solche Batterie aus n Platten, und bezeichnet m die Influenzelektricitätsmenge der ersten Platte, so hat, wenn die innere Belegung der ersten Platte die Elektricität $+1$ erhält, die äufsere Belegung der $n$ten Platte $-m^n$. Nur die gröfsere Menge $+1$ kann vom Elektroskope angezeigt werden, aus dem Grunde, der §. 378 für eine einzelne Ladungsplatte angegeben worden ist. Wird nun die äufsere Belegung der $n$ten Platte isolirt, und die innere der ersten abgeleitet, so ist der Fall derselbe, als ob die Batterie direct die Elektricität $-m^n$ erhalten hätte. Die innere Belegung der ersten Platte erhielt durch Influenz die Elektricität $+m^{2n}$ und nur die gröfsere Menge $-m^n$ kann vom Elektroskope angezeigt werden.

Munck af Rosenschöld[1]) hat solche ladungsfähige 381
Säulen zusammengesetzt aus einfachen Pulvern, die in Glasröhren gestopft wurden. Er fand Kohle, Manganhyperoxyd, Eisenoxyd, gelbes Quecksilberoxyd, rothen Zinnober dazu tauglich. Das interessanteste Beispiel lieferte ihm Schwefelantimon in cylinderförmigen Stücken, das eine starke Ladung annahm. Das Ende eines Stabes aus Schwefelantimon von 3 Zoll Länge wurde an den positiven Conductor einer Maschine und dann an ein Elektroskop angelegt. Das angelegte Ende gab eine starke Divergenz mit positiver Elektricität, das in der Hand gehaltene mit negativer. Diese Erscheinung zeigte sich wiederholentlich und selbst mehrere Stunden nach der Elektrisirung, wenn der Versuch nicht zu oft angestellt, und eine Verbindung der Enden des Stabes durch einen guten Leiter vermieden worden war. Ein solches Stäbchen ist aber, wie

[1]) Poggend. Ann. 43. 217.

Digitized by Google

[381] mich die Erfahrung gelehrt hat, nicht leicht zu erhalten. Das Schwefelantimon kann in zwei Zuständen massiv erhalten werden; hellgrau und krystallinisch wenn es nach der Schmelzung langsam erkaltet, stahlblau und glasig wenn es schnell erkaltet ist. In dem ersten Zustande leitet es die Elektricität zu gut, in dem letzteren zu schlecht, um die Erscheinung der Ladung auffällig zu zeigen. Es muſs durch die Abkühlung der geschmolzenen Masse ein gewisser Mittelzustand getroffen werden, in welchem sie ein Elektroskop langsam entladet, also ein Halbleiter geworden ist.

Digitized by Google

Zweiter Abschnitt.

Wirkungen elektrisirter Körper während ihrer Entladung.

Digitized by Google

Erstes Kapitel.

Der Entladungsstrom und seine Bedingungen.

In dem ersten Abschnitte sind die Wirkungen von Körpern 382
betrachtet worden, die sich im elektrischen Zustande befinden, hier werden uns die Wirkungen beschäftigen, die durch plötzliche Aufhebung dieses Zustandes hervorgebracht werden. Es ist erwähnt worden, dafs der elektrische Zustand einer fortwährenden Abnahme unterworfen ist, dafs er aber auch plötzlich aufgehoben werden kann durch Verbindung des elektrisirten Körpers mit der Erde, oder mit einem andern Körper, der eine der seinigen entgegengesetzte Elektricität besitzt. Diese plötzliche Aufhebung des elektrischen Zustandes ist *Entladung* genannt und in dem Leiter, der sie bewirkt, ein Fortschreiten von Elektricität in bestimmter Richtung, ein *Entladungsstrom* angenommen worden (§. 304.). Diese Annahme wird durch Analogie gegeben. Wenn an den elektrisirten Körper eine kleine isolirte leitende Kugel angelegt wird, so lehrt die Erfahrung, dafs die Kugel elektrisch, der Körper weniger elektrisch geworden ist, und Dasselbe gilt von einer zweiten Kugel, die an die erste, von einer dritten, die an die zweite angelegt wird u. s. f. Durch Wiederholung dieser Berührungen wird der elektrisirte Körper zuletzt unelektrisch, also entladen werden. Denken wir uns den zusammenhängenden in die Länge ausgedehnten Leiter, der einen elektrisirten Körper entladet, aus sehr vielen hinter einander liegenden leitenden Punkten

Digitized by Google

[382] zusammengesetzt, so wird die Entladung des Körpers dadurch herbeigeführt werden, dafs in einzelnen sich wiederholenden Pulsen jeder dieser Punkte elektrisch wird, und zwar desto später, je entfernter er von dem elektrisirten Körper liegt. Hiernach findet ein länger dauerndes Fortschreiten eines elektrischen Zustandes im entladenden Leiter statt, das in seiner Gesammtheit den Entladungsstrom bildet. Die *Richtung* des Stromes wird durch zwei Punkte bestimmt, von welchen der später genannte in der Zeit nach dem ersten den elektrischen Zustand annimmt. Bei der Bezeichnung der Richtung eines Stromes bedient man sich einer Abkürzung. Es ist wahrscheinlich, dafs stets zwei einander entgegenlaufende Ströme in dem entladenden Leiter vorhanden sind, ein Strom von positiver und einer von negativer Elektricität; es genügt, die Richtung des positiven Stromes anzugeben. Ein Körper mag positiv oder negativ elektrisirt sein, so soll der Ausdruck, der Entladungsstrom besitze die Richtung ab, angeben, dafs der Punkt b des Leiters bei der Entladung später *positiv* elektrisch werde als der Punkt a, und daher a später negativ elektrisch werde als b.

383 Ich habe den muthmafslichen Vorgang im entladenden Leiter angedeutet, um den Ausdruck: Richtung des Entladungsstromes klar zu machen; es ist unwesentlich ob dieser Vorgang wirklich stattfindet. Die Aufgabe ist, die Wirkungen des Stromes und ihre Gesetze zu ermitteln, und wenn ich daher auch fernerhin auf die Natur des Stromes zurückgehe und ihm Bedingungen vorschreibe, so geschieht es hauptsächlich, um einen kurzen Ausdruck zu gewinnen und damit jene Wirkungen in einen übersichtlichen Zusammenhang zu bringen. In der That aber haben theoretische Untersuchungen über den Mechanismus der Naturkräfte in der experimentellen Physik keinen andern Zweck. Die Vortheile bleiben, welche solche Untersuchungen gewähren, wenn auch die durch sie gewonnenen Vorstellungen als naturwidrig erkannt werden sollten. Der Entladungsstrom bringt in dem Leiter, den er durchläuft, unmittelbar sehr verschiedene Aenderungen hervor: thermische, mechanische, magnetische, chemische, physiologische Aenderungen. Um diese Wirkungen durch die gewöhnlichen Elektrisirmaschi-

Digitized by Google

nen in auffälliger Weise hervorzubringen, überall aber, wo jene [383]
mit Genauigkeit gemessen werden sollen, mufs man den Entladungsstrom an einem Ladungsapparate erzeugen. Ich werde deshalb nur auf die Versuche genauer eingehen, die an Batterien angestellt sind, bemerke aber, dafs zwischen diesen und Versuchen am einfachen Conductor kein wesentlicher Unterschied stattfindet.

Der Entladungsstrom, den wir durch seine Wirkungen 384
erkennen und messen, ist wesentlich von drei Bedingungen abhängig: der Elektricitätsmenge in der Batterie, der mittleren Dichtigkeit jener Menge und der Beschaffenheit des, die Entladung herbeiführenden, Leiters. Der letztere mufs bei den hier überall angewandten Flaschenbatterien bogenförmig sein, und soll deshalb in seiner Gesammtheit *Schliefsungsbogen* heifsen, während einzelne Stücke desselben als Schliefsungsdrath, -stab bezeichnet werden. Der Entladungsstrom ist abhängig von Substanz, Form, Dimensionen und Zusammensetzung des Schliefsungsbogens. Diese Abhängigkeit kann einfacher aufgefafst werden. Wir haben gesehen, dafs wenn ein elektrisirter Körper durch Verbindung mit der Erde entladen wird, die Zeit, welche während dieser Entladung verfliefst, von Stoff und Dimensionen des verbindenden Körpers abhängt, und haben diese Zeit bereits zur Unterscheidung der verschiedenen Arten von Leitern benutzt (§. 22.). Es ist nun sehr wahrscheinlich, dafs auch Zusammensetzung und Form des Leiters die Entladungszeit bedingen, und dafs der Entladungsstrom in einfachem Verhältnisse zur Entladungszeit steht. Wir setzen daher den Entladungsstrom abhängig von der *Elektricitätsmenge, mittleren Dichtigkeit* und (hypothetisch) der *Entladungszeit* der Batterie, und müssen zuerst diese Bedingungen des Stromes auf vergleichbare Maafse zurückführen.

Maafs der Elektricitätsmenge und ihrer Dichtigkeit in der Batterie.

An einfachen Leitern ist die Elektricitätsmenge unmittel- 385
bar durch Theilung (§. 45.) und dann überall mittelbar durch

Digitized by Google

[385] eine elektrische Wirkung, die Abstofsung, gemessen worden. Bei den Batteriewirkungen ist eine unmittelbare Messung der Elektricitätsmenge nöthig, die am bequemsten während der Ladung ausgeführt wird. Eine solche Messung ist häufig durch Zählung der zur Ladung der Batterie nöthigen Umdrehungen der Elektrisirscheibe versucht worden. Aber wenn auch, was selbst während einer kurzen Zeit nicht der Fall ist, die Wirksamkeit einer Elektrisirmaschine constant bliebe, so ist jene Zählung nur als rohe Schätzung der Elektricitätsmenge zu betrachten. Der Conductor der Maschine giebt in gleicher Zeit der Batterie desto weniger Elektricität ab, und empfängt daher desto weniger Elektricität von der Scheibe, je höher die Ladung der Batterie bereits gestiegen ist. Man sieht sogleich, dafs wenn die Punkte, an welchen Conductor und Batterie einander berühren, dieselbe Dichtigkeit erlangt haben, die Batterie auch durch fortgesetztes Drehen der Scheibe keine Elektricität mehr erhält, und der Conductor nur soviel, als ihm die Zerstreuung der Elektricität raubt. Daher entspricht der ersten Drehung der Scheibe, bei noch ungeladener Batterie, die gröfste Elektricitätsmenge, und diese nimmt bei den folgenden Drehungen in einem unbekannten veränderlichen Verhältnisse fortwährend ab. Die Anzahl der Umdrehungen der Scheibe kann also kein Maafs für die in die Batterie geführte Elektricitätsmenge abgeben; sie ist nur zur Beurtheilung der Wirksamkeit einer Elektrisirmaschine dienlich, wenn man die dabei gelieferte Elektricitätsmenge auf die folgende Weise gemessen hat.

386 Die §. 359 beschriebene Methode, eine leydener Flasche stets zu demselben Grade zu laden, dient mit geringer Veränderung dazu, das Verhältnifs verschiedener Elektricitätsmengen in der Batterie zu finden [1]). Man isolirt die äufsere Belegung der Batterie, und schafft die auf ihr erregte, mit der zugeführten gleichnamige, Elektricität in einzelnen Portionen fort, die dadurch gleich gemacht werden, dafs man jede derselben zur Ladung einer sorgfältig construirten Lane'schen Flasche (§. 361.) benutzt. Diese Flasche entladet sich bei bestimmter Elektricitätsmenge, und die Anzahl solcher Entla-

[1]) Poggend. Ann.* 40. 323.

Digitized by Google

dungen giebt dann ein Maafs für die in die Batterie geführte [386]
Elektricitätsmenge. Damit aber jede Entladung gleichen Werth habe, ist es nöthig, dafs die Ladung der Batterie continuirlich erfolge durch leitende Verbindung von Batterie und Conductor und durch möglichst gleichförmige Drehung der Elektrisirscheibe. In Fig. 90 ist die *Maafsflasche* abgebildet. Sie hat eine Belegung von $\frac{1}{2}$ Quadr.-Fufs, und ist auf einer kupfernen Fufsplatte befestigt, die eine vollkommene Ableitung zur Erde erhält. Der Zuleitungsdrath der innern Belegung zeigt zwei Kugeln; in der unteren ist der Drath befestigt, der zur Druckschraube der äufsern Belegung der Batterie führt (§. 363.), die obere steht auf einem konischen Zapfen, um den sie drehbar ist. Dieser letzten Kugel nahe und mit ihr in gleicher Höhe, steht eine gleiche Kugel auf einem Zapfen, der durch Schlittenbewegung und Führschraube sich (bis 0,1 Linie) mefsbar verschieben läfst. Da der Schlitten auf einem Glasstabe isolirt ist, so wird noch eine Verbindung des Schlittens mit der Fufsplatte, und damit der äufseren Belegung der Flasche nothwendig. Diese Verbindung ist durch einen $3\frac{1}{4}$ Fufs langen 0,056 Linie dicken, um einen Glasstab gewundenen Platindrath hergestellt, der die Verletzungen der Kugeln durch die Entladungen vermindert. Länger und dünner darf der Drath nicht genommen werden, da sonst Schall und Licht der Entladungen der Flasche, die zur Zählung bemerkbar sein müssen, zu schwach sein würden. Damit jede Entladung bei derselben Elektricitätsmenge eintrete, müssen die Stellen der Kugeln, an welchen der Funke übergeht, durchaus rund und gut polirt sein und längere Zeit bleiben. Nach vielen Versuchen zur Ermittelung der besten Kugeln zu diesem Zwecke habe ich sie aus Kupfer genommen, polire sie sorgfältig mit Oel und Zinnasche auf einer Drehscheibe, und suche, nachdem die Kugeln an der Maafsflasche befestigt sind, die tauglichen Stellen der Kugeln vor jeder längeren Versuchsreihe auf. Die Drehung um die Zapfen erlaubt, an jeder Kugel einen gröfsten Kreis zur Entladung zu benutzen. Zeigen die getroffenen Stellen nach 10 — 20 Entladungen angehaucht einen kreisrunden unbenetzten Fleck, so sind sie zu dem Versuche tauglich. Da die Kugeln bei der Entladung höchstens 1 Linie

Digitized by Google

[386] von einander stehen, so ist die Schlittenbewegung von der Führschraube zu lösen, damit die eine Kugel einige Zoll von der andern entfernt, und der Kreis im Hauche erkannt werden kann.

387 Die Messung der in die Batterie geführten Elektricitätsmenge durch die Entladungen der Maafsflasche beruht auf dem Satze, dafs, wenn die Elektricitätsmenge 1 in der Batterie die Menge m auf der äufseren Belegung durch Influenz erregt, der Menge n eine Menge nm entsprechen mufs. Wenn durch die Menge m eine Entladung der Maafsflasche erfolgt, so werden bei der successiv erregten Menge nm, n Entladungen gezählt werden müssen. Streng genommen sind nur die nach der ersten Entladung folgenden Entladungen einander gleich, und der ersten entspricht eine etwas gröfsere Elektricitätsmenge, als einer folgenden, weil bei dieser ein Rückstand von Elektricität in der Flasche zurückgeblieben ist. Man findet deshalb Batteriewirkungen bei geringer Ladung, wo dieser Unterschied der Elektricitätsmenge bedeutend wird, stets gröfser als nach der gezählten Elektricitätsmenge erwartet werden kann, und mufs deshalb die Einheit dieser Menge möglichst klein wählen. Was den der Messung zu Grunde liegenden Satz betrifft, so ist derselbe früher bewiesen (§. 169.) und durch die Messung der Influenzelektricitätsmenge bestätigt worden. Es ist indefs nicht überflüssig, auch hier eine Bestätigung des Satzes zu geben, der bei der Batterie in weiter Ausdehnung angewendet wird. Ich habe dazu [1]) einige Wirkungen der Batterie benutzt (§. 389.), die ihr als geladenem Körper zukommen, und deren Gesetze sich daher aus dem ersten Abschnitte im Voraus bestimmen lassen. Da die Resultate der Versuche den erwarteten entsprechen, so ist auch die angewandte Messung der Elektricitätsmenge und das ihr zu Grunde liegende Princip indirect bestätigt.

388 Die mittlere *elektrische Dichtigkeit* in der Batterie wird wie bei dem einfachen Leiter (§. 127.), durch einen Bruch bestimmt, dessen Zähler die Elektricitätsmenge q, und Nenner die Ausdehnung der innern Belegung s ist, auf die die Menge verbreitet ist.

---

[1]) Poggend Ann.* 40. 326 ff.

Digitized by Google

Es bezeichnet also $\frac{q}{s}$ die Dichtigkeit der Batterie, das heifst [388]
die Elektricitätsmenge, die bei gleichförmiger Verbreitung jeder Flächeneinheit der inneren Belegung zukäme. Auf die Dichtigkeit einzelner Punkte der Belegung kommt es bei den Wirkungen der Entladung nur so weit an, als die Schlagweite dadurch geändert wird. Da wir durch den Entladungsapparat (§. 365.) die Entladung stets an demselben Punkte der inneren Belegung stattfinden lassen, so kommt die elektrische Dichtigkeit dieses Punktes nicht in Betracht. Der Gröfse q liegt als Einheit die Elektricitätsmenge zu Grunde, die in die Batterie geführt, eine Entladung der Maafsflasche herbeiführt. Diese Einheit hängt daher von der Entfernung der Kugeln der Maafsflasche ab; man nimmt diese $\frac{1}{3}$ bis eine ganze Linie. Um grofse Zahlen zu vermeiden, kann auch die zweien Entladungen entsprechende Elektricitätsmenge zur Einheit genommen werden. Zur Flächeneinheit wird die Belegung einer Flasche genommen, so dafs s die Anzahl der in der Batterie benutzten Flaschen bedeutet. Wo keine vollkommene Gleichheit der Flaschen in Belegung und Glasdicke stattfindet, mufs an s eine Correction angebracht werden. Die Prüfung der einzelnen Flaschen geschieht auf die §. 371 angegebene Weise durch Theilung der Ladung. Es ist häufig nützlich, die Dichtigkeit der Batterie nicht in den kleinsten Zahlen anzugeben, z. B. also $\frac{q}{s} = \frac{4}{2}$ stehen zu lassen, damit die Anzahl der Flaschen und der Entladungen der Maafsflasche erkannt werden.

Abstofsung einer an der inneren Belegung der [389]
Batterie anliegenden Kugel. Ein 12 Zoll langer $1\frac{1}{2}$ Lin. dicker Glasstab war in seiner Mitte mit einer Fassung und Stahlzapfen versehen, mit welchen er auf den rund geschliffenen Kanten zweier Agatplatten auflag (Fig. 91.). An dem einen Ende dieses Wagebalkens war eine hohle Messingkugel von $7\frac{1}{2}$ Linien Durchmesser, an dem andern eine kleine Wagschale befestigt, und der horizontale Stand des Balkens hergestellt worden. Von der Kugel der mittleren Batterieflasche ging ein dicker Messingdrath schräg nach unten, und endigte in eine Messingkugel von $9\frac{1}{2}$ Linien Durchmesser, unter welche

Digitized by Google

[389] die Kugel der Wage, jene so eben berührend, gestellt war. Es wurde ein Gewicht p in die Schale gelegt, und die Batterie durch gleichförmiges Drehen der Elektrisirmaschine geladen, bis die feste Kugel die anliegende der Wage so eben abstiefs. Die Anzahl der Entladungen der Maafsflasche q gab die zur Abstofsung nöthige Elektricitätsmenge an. Die Kugeln der Flasche waren $\frac{1}{2}$ Linie von einander entfernt. In den folgenden Versuchen ist p in Granen angegeben, q ist Mittel aus zwei Beobachtungen, s bedeutet die Zahl der benutzten Flaschen.

s	1		2		3		4		5	
p	beob. q	ber.	beob. q	ber.	beob. q	ber.	beob. q	ber.	beob. q	ber.
1	2,0	2,2	4,5	4,5	7,0	6,7	8,7	8,9	10	11,2
2	3,5	3,2	6,0	6,3	10	9,5	12	12,6	15,5	15,8
3	4,0	3,9	7,7	7,7	11,7	11,6	15	15,5	20	19,4
4	4,5	4,5	9,0	8,9	13,3	13,4	17,7	17,9	24	22,4

390 Die berechneten Werthe von q sind durch folgende Betrachtung gewonnen. Die feste Kugel und die sie berührende bewegliche ist mit dem Zuleitungsdrathe der Batterie in Verbindung, und nimmt an dem elektrischen Zustande dieses Drathes Theil. Der Zuleitungsdrath gehört zu verschieden grofsen Flächen gleicher Gestalt und, da diese aus einzelnen gleich grofsen Ladungsflächen bestehen, gleicher Verstärkungszahl (§. 326.). Ein jeder Theil des Drathes und daher auch jede der beiden Kugeln besitzt eine Elektricitätsmenge, die der mittleren Dichtigkeit $\frac{q}{s}$ der Batterie proportional ist. Da nun die Abstofsung zweier Kugeln dem Producte ihrer Elektricitätsmengen proportional ist, so mufs diese Abstofsung proportional $\left(\frac{q}{s}\right)^2$ sein. Wenn p die Kraft der Abstofsung in Granen und a eine Constante bezeichnet, so ist

$$p = a\left(\frac{q}{s}\right)^2 \text{ oder } q = bs\sqrt{p}$$

Für b ist das Mittel aller einzeln berechneten Werthe $= 2{,}236$ genommen. Die Uebereinstimmung der berechneten q mit den beobachteten zeigt die Richtigkeit der Methode, durch die q bestimmt worden ist. Aus der obigen Angabe

Digitized by Google

folgt ferner, dafs wenn die Kugel der Wage, statt an der festen [390]
anzuliegen, mit einer constanten Elektricitätsmenge versehen, sich in einiger Entfernung von der festen Kugel befunden hätte, die Abstofsung nach der Formel $p = a\frac{q}{s}$ erfolgt sein würde.

Abstofsung einer Kugel, die von einer andern 391
angezogen wird. An den abwärts gehenden Drath der Batterie war eine massive Messingkugel angesetzt mit einem horizontalen Messingarme von 6 Zoll Länge (Fig. 92.), dessen Ende sich nach unten krümmte, aufgeschnitten war, und in den hierdurch entstandenen Seitentheilen zwei Einschnitte hatte, um die Stahlzapfen eines Wagebalkens aufzunehmen. Dieser Balken, 11 Zoll 9 Linien lang, bestand zur Hälfte aus einer dünnen Messingröhre, in welcher die Zapfen befestigt waren, zur Hälfte aus einem dünnen Glasstabe. Die metallene Hälfte trug an ihrem Ende eine hohle Messingkugel von $9\frac{3}{4}$ Lin. Durchmesser, die gläserne eine Wagschale. Bei horizontalem Stande des Balkens lag die bewegliche Kugel an der festen an; unter ihr, 1 Zoll von ihr entfernt, stand eine gleich grofse Messingkugel, die mit der äufseren Belegung der Batterie durch einen Kupferdrath verbunden war. Der Wagebalken wurde also, wenn die Batterie geladen war, zugleich von dem über ihm befindlichen festen Arme abgestofsen, und von der unter ihm stehenden Kugel angezogen. Beiden Kräften wirkt das Gewicht in der Wagschale entgegen, so dafs bei anfangender Bewegung des Balkens dies Gewicht die Summe der Abstofsung und Anziehung mifst. Von der Abstofsung wissen wir, dafs sie dem Quadrate der Dichtigkeit in der Batterie proportional ist; dasselbe gilt von der Anziehung, da die bewegliche Kugel in der unter ihr stehenden Kugel eine ihrer Elektricitätsmenge proportionale Menge erregt, und die Anziehung durch das Product beider Mengen gemessen wird. Wenn also p die Summe der Anziehung und Abstofsung bezeichnet, so ist $p = a\left(\frac{q}{s}\right)^2 + a'\left(\frac{q}{s}\right)^2 = b\left(\frac{q}{s}\right)^2$ oder nach Bestimmung der Constante für die folgenden Versuche

$$q = 1{,}79 \,.\, s\sqrt{p}.$$

Digitized by Google

[391]

s	2		3		4	
p	beob. q	berechn.	beob. q	berechn.	beob. q	berechn.
1	3,5	3,6	5,5	5,4		
2	5	5,1	7,5	7,6	10	10,1
3	6	6,2	9,7	9,3	12	12,4
4	7	7,2	11	10,7	15	14,3

Die Uebereinstimmung der berechneten Werthe von q mit den beobachteten rechtfertigt wiederum die Messung der in die Batterie geführten Elektricitätsmenge.

392 Die in den letzten Paragraphen angeführten Versuche lehren die Sprache kennen, welche einige in früherer Zeit gebrauchten Instrumente führen. Die Brook'sche Wage [1]) ist nach dem Principe des §. 389, die Hauch'sche [2]) und Cuthbertson'sche Wage [3]) nach dem Principe §. 391 construirt. Die erste Wage zeigt die Ladung der Batterie durch Abstofsung an, die beiden letzten entladen die Batterie nach der Anzeige. Man sieht nämlich, dafs wenn die bewegliche Kugel (Fig. 91.) abgestofsen wird, sie sich der unter ihr stehenden Kugel nähert, die Anziehung gegen diese zunehmen, und zuletzt eine Entfernung der Kugeln eintreten mufs, bei welcher zwischen ihnen die Entladung der Batterie stattfindet. Mit Hülfe dieser Instrumente hat man zuerst die Gesetze einer Wirkung des Entladungsstromes (der Schmelzung von Dräthen) aufgesucht; der Versuch scheiterte indefs gänzlich, theils, weil man die Sprache der Instrumente nicht verstand, theils weil die geringe Empfindlichkeit derselben keine scharfen Resultate zuliefs. Da die Abstofsung der Kugeln nämlich von der Dichtigkeit der Batterie abhängt, so kann diese, wenn man, wie bei Schmelzversuchen, ausgedehnte Batterieflächen benutzen mufs, sehr klein sein bei grofser Elektricitätsmenge. Diese Abstofsung hat nicht allein die Reibung an den Zapfen des Wagebalkens zu überwinden, sondern auch die Adhäsion der Kugeln an einander, die durch den Umstand vergröfsert wird, dafs bei jeder Elektrisirung die Dichtigkeit der Berührungspunkte Null ist. Die Selbstentladung der Batterie bei be-

[1]) Saxtorph Elektricitätslehre." Kopenhag. 1803. 1. 86. [2]) S. 334 [3]) S. 339.

Digitized by Google

stimmter Ladung, die übrigens bei genauen Versuchen von [392]
keinem Vortheil ist, kann auf einfachere Weise als durch die Wage, nämlich durch die Schlagweite der Batterie erreicht werden, deren Gesetz hier folgt.

Schlagweite der Batterie. Wir haben bei dem An- 393
sammlungsapparate durch Messung in der Torsionswage gesehen, dafs die Schlagweite am Ende des Zuleitungsdrathes der Collectorplatte proportional der Dichtigkeit dieses Endes ist (§. 334.); da nun die Dichtigkeit eines Punktes am Zuleitungsdrathe der inneren Belegung proportional der mittleren Dichtigkeit der Batterie ist (§. 390.), so folgt die Proportionalität der Schlagweite mit der mittleren Dichtigkeit der Batterie. Die folgenden Versuche bestätigen dies vollkommen. An dem Funkenmikrometer (§. 330.) wurden Kugeln benutzt, die eine von 5,7 die andere von 4,4 Linien Durchmesser. Die gröfsere Kugel war durch einen Drath mit der inneren, die kleinere mit der äufseren Belegung der Batterie verbunden. Von der äufsern Belegung war aufserdem, wie bei den vorhergehenden Versuchen, ein Drath zur Maafsflasche geführt, deren Kugeln $\frac{1}{2}$ Linie von einander entfernt standen. Die Kugeln des Mikrometers wurden in die Entfernung d ($1 = \frac{1}{2}$ Lin.) gestellt, die Batterie, aus s Flaschen bestehend, wurde geladen bis zur Entladung, und die Funken der Maafsflasche gaben die gebrauchte Elektricitätsmenge q an. Nach der obigen Voraussetzung wird sein

$$d = b\frac{q}{s}$$

oder nach Bestimmung der Constante b aus den folgenden Versuchen

$$q = 0{,}833 \,.\, s\,d$$

Die beobachteten Werthe von q stimmen hiermit überein.

s	2		3		4		5	
d	beob.	q ber.	beob.	q ber.	beob.	q ber.	beob.	q ber.
1			3	2,5	3,5	3,3	4,3	4,2
2	3	3,3	5,5	5,0	7	6,7	8,5	8,3
3	4,6	5,0	8	7,5	10,1	10,0	12,5	12,5
4	6,4	6,7	10,3	10,0	13,5	13,3	16	16,7
5	7,5	8,3			16	16,7		

Digitized by Google

[393] Man kann daher die Elektricitätsmenge, mit der die Batterie geladen ist, aus der Schlagweite bestimmen. Doch steht diese Bestimmung der durch die Maafsflasche an Genauigkeit nach, besonders bei geringen Schlagweiten, wovon der Grund §. 334 angegeben worden ist.

Die Entladungszeit der Batterie.

394 Die Dauer der Entladung (Entladungszeit) der elektrischen Batterie wird durch das Zeitintervall gegeben zwischen dem Augenblicke, in welchem die Elektricitätsmenge der Batterie abzunehmen anfängt, und dem wo sie erschöpft ist. Sie ist gleich der Dauer des elektrischen Stromes, der die Entladung begleitet, und da jener so lange währt, als der Schliefsungsbogen elektrisch bleibt, gleich der Dauer des elektrischen Zustandes an jedem Punkte des Schliefsungsbogens. Es lassen sich hiernach zwei verschiedene Messungsarten der Entladungszeit denken; die eine: durch Beobachtung des elektrischen Zustandes der Batterie selbst, die andere: des elektrischen Zustandes eines Punktes im Schliefsungsbogen. Die erste Messungsart ist bisher nicht versucht worden, und dürfte schwerlich ausführbar sein. Die bis jetzt bekannten Prüfungsmittel auf Elektricität beruhen auf Bewegung, die eine Zeit verlangt, welche in den meisten Fällen gegen die zu messende Entladungszeit aufserordentlich grofs ist. Man befestige das empfindlichste Elektroskop an dem Zuleitungsdrathe der Batterie, so wird man es augenblicklich zusammenfallen sehen; bei der Entladung der Batterie durch eine feuchte Schnur oder eine Wassersäule nicht merklich anders, als wenn die Batterie durch einen Metalldrath entladen wird. Dennoch läfst sich aus den Wirkungen des Stromes in beiden Fällen schliefsen, dafs die Entladungszeit im ersten Falle aufserordentlich viel gröfser sei, als im zweiten. Es ist aber von dem gröfsten, ja fast alleinigem Interesse, viel geringere Unterschiede der Entladungszeit zu messen, die bei ganz metallischen Bogen stattfinden.

Digitized by Google

Die zweite Methode, die Entladungszeit zu messen durch 395
Beobachtung der Zeit, während welcher ein Punkt des Schliefsungsbogens elektrisch bleibt, ist neuerdings versucht worden. Ich will die Methode beschreiben, obgleich ihre Ausführung mit grofsen Kosten und Schwierigkeiten verknüpft ist, welche eine Wiederholung der bisher einzigen vorliegenden Messung verhindert haben. Die Methode ist nur anwendbar bei einem durch Luft unterbrochenen Schliefsungsbogen. Wird der starre Schliefsungsbogen an einer Stelle durch einen Zwischenraum unterbrochen, der bedeutend kleiner ist, als die der Ladung der Batterie zukommende Schlagweite, so findet die Entladung ungehindert statt, und in der schmalen Luftschicht, die an dem elektrischen Zustande des ganzen Bogens Theil nimmt, erscheint ein Funke, der so lange leuchtet, als der elektrische Strom dauert. Man hat daher für die Entladungszeit der Batterie die Leuchtdauer dieses Funkens zu messen, was Wheatstone[1]) in folgender Weise ausgeführt hat.

Betrachtet man aus grofser Nähe das Licht eines ent- 396
fernten leuchtenden Punktes in einem ebenen Spiegel, der um eine in seiner Ebene liegende Axe gedreht wird, so sieht man das Bild einen Kreisbogen beschreiben, von dem das katoptrische Gesetz lehrt, dafs er in Graden doppelt so grofs ist, als die Drehung des Spiegels zwischen den beiden Stellungen beträgt, bei welchen das Bild in das Sehfeld aus- und eintritt. Fängt der Punkt später an und hört er früher auf zu leuchten, als diese beiden Stellungen vom Spiegel eingenommen werden, so erscheint der Lichtbogen kürzer, und es läfst sich aus der Länge des Bogens der Drehungswinkel des Spiegels während des Leuchtens, und bei bekannter Drehungsgeschwindigkeit des Spiegels die Leuchtdauer des Punktes berechnen. Der Lichtbogen betrage a Grade, so ist die Drehung des Spiegels $\frac{a}{2}$, die, wenn der Spiegel in 1 Sekunde b Umläufe vollendet, $\frac{a}{720.b}$ Sekunde gedauert hat. Wird die Lücke in dem Schliefsungsbogen einer Batterie in einem ruhenden

[1]) *Phil. transact.* 1834.* 583. Poggendorff Annalen.* 34. 464.

Digitized by Google

[396] Spiegel betrachtet, so erblickt man bei der Entladung einen Funken, hingegen einen Lichtbogen, wenn der Spiegel mit hinreichender Geschwindigkeit um seine Axe gedreht wird. Nach der Gröfse des Bogens und der Umdrehungsgeschwindigkeit des Spiegels wird die Leuchtdauer des Funkens und damit die Entladungszeit der Batterie berechnet werden können. Eine Schwierigkeit dieser Messungsmethode entsteht daraus, dafs das Sehfeld im Spiegel nur einen Theil einer Umdrehung des Spiegels umspannt, und dafs die Entladung der Batterie stattfinden mufs, während der Spiegel diesen Theil seiner Umdrehung beschreibt. Diesem Uebelstande kann durch Beschränkung der Entladungsstelle nicht ganz abgeholfen werden. Um die Wahrscheinlichkeit jenes Zusammentreffens zu erhöhen, mufs man die Entladung der Batterie öfter schnell nach einander eintreten lassen. Als ein anderes Mittel dazu hat Wheatstone vorgeschlagen, einen Polygonalspiegel mit sechs gegen die Drehungsaxe symmetrisch gelegten reflectirenden Flächen anzuwenden, der bei einer Umdrehung dem Auge 6 Sehfelder darbieten würde.

397 Der rotirende Spiegel ist von Wheatstone auch zur Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität benutzt worden, durch welche der §. 382 hypothetisch angegebene Vorgang im elektrischen Strome eine Bestätigung erhalten hat. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Entladung sich im Schliefsungsbogen fortpflanzt, ist schon vor langer Zeit untersucht worden, ohne dafs sich dabei ein Resultat ergeben hätte. Der ausgedehnteste Versuch darüber ist am 5. August 1748 von Watson in London angestellt worden [1]). Der Schliefsungsbogen einer leydener Flasche war durch einen Drath von 12276 engl. Fufs Länge gebildet, der auf einem Felde über trockene Holzpfosten ausgespannt, und so geführt wurde, dafs Anfang, Mitte und Ende des Drathes sich in demselben Zimmer mit der Flasche und der Elektrisirmaschine befand. In der Mitte war der Drath durchschnitten, und der Zwischenraum wurde durch den Körper des Beobachters ausgefüllt, der die entstandenen Drathenden in die Hände nahm.

[1]) *Watson account of the experiments etc. Lond.* 1748.* 48.

Digitized by Google

Der Beobachter sah den Entladungsfunken am Ende des ganzen Drathes, der die innere Belegung der Flasche berührte, und fühlte die Erschütterung, die durch die Entladung in seinem Körper verursacht wurde. Zwischen beiden Empfindungen konnte kein Zeitunterschied wahrgenommen werden, wonach die Geschwindigkeit der Entladung durch den Drath als unmefsbar grofs geschlossen wurde. [397]

Wheatstone hat diese Untersuchung wieder aufgenommen, und ist zu einem Resultate gekommen. Er unterbricht den sehr langen Schliefsungsdrath einer Flasche an 3 Stellen: in der Mitte des Drathes und nahe den Enden, die zu den beiden Belegungen führen. Diese drei Unterbrechungen sind einander nahe gerückt, durch sechs, auf einem Brette in eine Linie gestellte, Kugeln gegeben (Fig. 93.), die mit den einzelnen Drathenden gehörig verbunden sind. Bei der Entladung der Flasche entstehen zwischen den Kugeln drei Funken, die in einem ruhenden Spiegel betrachtet, in gerader Linie stehen, die man durch Stellung des Funkenbrettes der Drehungsaxe des Spiegels parallel richtet. Rotirt der Spiegel um diese Axe, so erscheinen nach §. 396 drei Lichtbogen, deren Anfangspunkte von den Zeitmomenten abhangen, in welchen die Funken zu leuchten anfangen. Ist der Zeitmoment für alle drei Funken derselbe, so müssen die Anfangspunkte der Bogen wieder in eine der Axe parallelen Linie stehen, ist er hingegen nicht derselbe, so müssen sie gegen diese Linie verschoben erscheinen. Beträgt die Verschiebung eines Anfangspunktes gegen die, durch einen andern Anfangspunkt gezogene Axenrichtung a Grade, und macht der Spiegel b Umläufe in der Sekunde, so findet man durch die §. 396 gegebene Betrachtung, dafs der eine Punkt $\frac{a}{720 \cdot b}$ Sekunde später angefangen habe zu leuchten, als der andere. Da der Weg bekannt ist, den die Entladung zwischen beiden Funken zurückgelegt hat, so läfst sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Entladung angeben. [398]

Von einem $\frac{1}{15}$ Zoll dicken Kupferdrathe wurden 20 Längen, jede von 120 Fufs, isolirt neben einander ausgespannt und je zwei Enden, mit Ausnahme der beiden mittelsten, mit ein- [399]

Digitized by Google

[399] ander verbunden, so dafs die Drathstrecke ein Continuum bildete, das nur in der Mitte unterbrochen war. Auf dem Funkenbrette (Fig. 93.) waren von den sechs Kugeln je zwei in $\frac{1}{10}$ Zoll Entfernung von einander gestellt. Mit Kugel 2 wurde der Anfang, mit Kugel 5 das Ende des ganzen Drathes verbunden, nach Kugel 3 und 4 gingen die frei gelassenen mittelsten Enden des Drathes, an den Kugeln 1 und 6 waren die in Fig. 94 bezeichneten Dräthe befestigt. Diese Figur zeigt zugleich den ganzen Apparat, von dem der Mefsapparat in Fig. 95 deutlicher abgebildet ist. *M* ist eine leydener Flasche, die durch die Kette *N* von einer Elektrisirmaschine fortwährend mit Elektricität versehen wird; ihre innere Belegung ist mit dem Entlader *oP* verbunden, zwischen dessen Kugeln die Entladung der Flasche bei bestimmter Ladung erfolgt. Diese kann indefs nur eintreten, wenn der mit der Axe des Spiegels bewegliche Arm *Q* dem Knopfe des festen Entladers nahe steht. Zwischen *Q* und dem Knopfe ist ein Glimmerblatt *S* mit einer sehr schmalen horizontalen Spalte angebracht, um den Uebergang des Funkens auf eine möglichst kleine Stelle zu beschränken. Der Entladungsstrom, von der inneren Belegung der Flasche ausgehend gedacht, wird folgenden Weg nehmen müssen. Er springt von dem festen Conductor *oP* nach dem Arme *Q* über, geht durch Drath 6 nach Kugel 6 des Funkenbrettes, springt nach Kugel 5 über, durchläuft $\frac{1}{4}$ engl. Meile Drath bis Kugel 4, springt nach Kugel 3 über, durchläuft $\frac{1}{4}$ Meile Drath bis Kugel 2, und geht durch Drath 1 bis zur äufseren Belegung der Flasche fort.

400 Der Mefsapparat besteht aus einem metallenen Aufsatze *III*, in dessen Wangen die Stahlaxe *FF* sehr leicht beweglich ist; dieser Axe wird die Bewegung durch eine Schnur von dem grofsen Rade *K* mitgetheilt, das mit dem kleinen Rade *L* eine gemeinschaftliche Axe hat; letzteres wurde mit einer rotirenden Maschine in Verbindung gesetzt. An der Axe *FF* ist der runde stählerne Spiegel *E* von 1 Zoll Durchmesser unverrückbar befestigt. Wenn der Arm *Q* die im vorigen Paragraphe angegebene zur Entladung der Batterie nöthige Stellung hat, ist der Spiegel *E* 45 Grade gegen den Horizont geneigt. Das Funkenbrett steht von dem Spiegel 10 Fufs entfernt,

Digitized by Google

und ihm in solcher Lage gegenüber, daſs, wenn man von oben [400]
in den Spiegel sieht, die 3 Funken zugleich in der Richtung der Spiegelaxe gesehen werden. Die feste Stellung des Auges wird durch das dicht über dem Spiegel angebrachte ebene oder concave Glas *R* gesichert. Die Umdrehungsgeschwindigkeit des Spiegels wurde ermittelt, indem man einen Vorsprung am Spiegel gegen ein Kartenblatt schlagen lieſs; die Höhe des dadurch entstandenen Tones ergab, daſs der Spiegel in 1 Sekunde 800 Umläufe machte.

Der Versuch zur Messung der Entladungszeit und der Fort- 401
pflanzungsgeschwindigkeit der Entladung, gab folgende merkwürdige Resultate. Der Beobachter betrachtete das Bild des Funkenbrettes im Spiegel, während die Flasche fortwährend mit positiver oder negativer Elektricität geladen wurde. Rotirte der Spiegel mit geringer Geschwindigkeit, so erschienen die drei Funken scharf begränzt und in einer geraden Linie liegend, hatte er hingegen die Geschwindigkeit von 800 Umläufen erreicht, so waren 3 Bogen sichtbar, deren Ausdehnung ungefähr 24 Grade betrug. Die Entladung der Flasche bei bestimmter Elektricitätsmenge und Dichtigkeit, und durch einen Schlieſsungsbogen von bestimmter Zusammensetzung hatte daher $\frac{24}{720 \,.\, 800} = 0{,}000042$ Sekunde gedauert; ein Resultat, das nur als Messung eines so kleinen Zeitintervalles interessant ist, und das durch eine zweite Messung bei verändertem Schlieſsungsbogen oder veränderter Ladung der Flasche gröſsere Bedeutung erhalten hätte.

Wichtiger war das Resultat in Bezug auf die Anfangs- 402
und Endpunkte der drei Bogen. Es waren die Punkte, welche den beiden äuſseren Funken des Funkenbrettes entsprachen, in der Richtung der Spiegelaxe geblieben; die Punkte hingegen, welche dem mittleren Funken entsprachen, gegen diese Richtung verschoben. Rotirte der Spiegel nach der rechten Hand des Beobachters, so hatte das Bild der Funken das Ansehen ⊜, rotirte er nach der Linken, das Ansehen ⊜. Der Funke in der Mitte des Schlieſsungsbogens hatte also später aufgeleuchtet und war später erloschen, als die Funken an seinen beiden Enden, und es wurde hiermit die Annahme bestätigt,

Digitized by Google

[402] dafs der elektrische Entladungsstrom in einem nach entgegengesetzter Richtung erfolgenden Fortschreiten von Elektricität bestehe. *Jeder Punkt des Schliefsungsbogens wird später elektrisch, als seine beiden Endpunkte.* Das numerische Resultat für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Entladung, kann nur als rohe Schätzung angegeben werden. Der mittlere Bogen war ungefähr $\frac{1}{2}$ Grad gegen die beiden äufseren verschoben, was einem Zeitintervall von $\frac{1}{2 \cdot 720 \cdot 800} = 0{,}000000868$ Sekunde entspricht. Da der zurückgelegte Weg $\frac{1}{4}$ Meile $= 1320$ englische Fufs betrug, so würde Elektricität von der angewandten Dichtigkeit im Kupferdrathe in 1 Sekunde 62500 geographische Meilen haben zurücklegen können. Diese Geschwindigkeit übertrifft die des Lichtes der Jupiterstrabanten im Weltraume, die in 1 Sekunde 41500 Meilen beträgt.

403 Der beschriebene Versuch, der durch Abänderung noch andere wichtige Aufklärungen über den Verlauf des elektrischen Stromes versprach, ist bis jetzt nicht wiederholt worden. Es sind Vorschläge zur Vereinfachung der Messungsmethode gemacht worden, von denen nur der Vorschlag von Siemens[1]) eine Erwähnung verdient. Derselbe beruht auf der Erfahrung, dafs der Entladungsfunke auf polirten Metallflächen ein scharfes erkennbares Zeichen zurückläfst, und auf der Methode, die Young zur Messung kleiner Zeiträume erfunden hat[2]). Zwei dicke Stahlscheiben, auf der runden Oberfläche polirt, werden von einander durch Glas oder Holz isolirt, und zu einem Cylinder zusammengesetzt, der um seine Axe in eine schnelle gleichförmige Rotation versetzt werden kann. Ueber jeder Scheibe, und zwar in derselben Seitenlinie des Cylinders, wird eine Stahlspitze der Cylinderfläche möglichst nahe befestigt. Man führt von der einen Spitze einen sehr langen Drath zur äufseren Belegung einer leydener Flasche, verbindet durch einen gleich langen Drath die beiden Scheiben, und bewirkt durch einen kurzen mit der zweiten Spitze verbundenen Drath, die Entladung der Flasche. Hierbei

---

[1]) Poggend. Ann.* 66. 444.

[2]) *Young lectures on natural philosophy.** *Lond.* 1807. 1. 191.

Digitized by Google

müssen zwischen jeder Scheibe und ihrer Spitze Funken ent- [403]
stehen, von welchen der eine dem mittleren, der andere einem äufseren Funken des vorigen Paragraphs entspricht. Die Dauer jedes Funkens, und damit die Entladungszeit der Flasche, wird durch die Länge des Funkenzeichens auf dem polirten Stahle gegeben, die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Entladung im Drathe durch die Entfernung der Seitenlinien des Cylinders, auf welchen die Zeichen anfangen und endigen. Man sieht dafs hier die Messung nach dem Versuche mit aller Bequemlichkeit und Schärfe geleistet werden kann, doch läfst sich nicht vorher bestimmen, ob die Begränzungen der Funkenzeichen die nöthige Schärfe zeigen werden. — Aufser dem bisher Angeführten sind über die Dauer der Entladung noch einige directe Messungen vorhanden für den speciellen Fall, wo ein feuchter Faden in den Schliefsungsbogen eingeschaltet, die Zeit also verhältnifsmäfsig sehr grofs ist. Da diese Messungen auf theoretischen Voraussetzungen über einige Wirkungen der Entladung beruhen, so kann ich sie erst später anführen (§. 548.).

Wenn bei jedem einzelnen Versuche über eine Wirkung 404
der Entladung die Menge und Dichtigkeit der Elektricität leicht und mit genügender Genauigkeit gemessen werden kann, so ist dies, nach dem Vorhergehenden, mit der Entladungszeit nicht der Fall. Dennoch ist es nützlich, die Entladungszeit als Bedingung der Wirkungen der Entladung nicht fallen zu lassen. Es soll für diese Zeit das Maafs indirect gesucht werden durch eine Wirkung der Entladung selbst, durch die Erwärmung des Schliefsungsbogens nämlich, indem wir, durch Analogie geleitet, bestimmte Aenderungen der Erwärmungen einer Aenderung der Entladungszeit zuschreiben werden. Ein Nachtheil kann durch diese hypothetische Bestimmung der Entladungszeit nicht entstehen. Denn wenn auch eine scheinbare Analogie uns irre geleitet hätte, so würde das angenommene Maafs der Entladungszeit, als eine bestimmte Function mefsbarer Gröfsen, immer seine Bedeutung behalten. Diese indirecte Bestimmung mufs aber deshalb sogleich in der Bezeichnung ausgedrückt werden. Es ist bisher wo eine directe rohe Zeitmessung diente, alle Körper in Bezug auf ihre elektrischen Eigen-

Digitized by Google

[404] schaften in Gruppen zu theilen, jedem Körper ein *Leitungsvermögen* zugeschrieben worden, das in dem umgekehrten Werthe jener Zeit sein Maafs haben sollte (§. 22.). Wir wollen jetzt dem Körper eine Eigenschaft zuschreiben, die der Entladungszeit direct proportional sein und *Verzögerungskraft* heifsen soll. Der Wortlaut dieser Bezeichnung wird später gerechtfertigt werden. Ein Körper habe eine gröfsere Verzögerungskraft als ein anderer, soll hiernach andeuten, dafs wenn die Zeit, in welcher derselbe einen elektrisirten Körper entladet, direct gemessen werden könnte, wir in ihm ein geringeres Leitungsvermögen erkennen würden. In der Lehre vom Galvanismus wird der umgekehrte Werth des Leitungsvermögens, aus magnetischen Wirkungen des Stromes geschlossen, mit dem Namen Leitungswiderstand belegt.

Zweites Kapitel.

Die erwärmende Wirkung der Entladung.

Der Apparat.

405 Der Schliefsungsbogen der Batterie mufs so eingerichtet werden, dafs man davon einzelne Stücke leicht wechseln, und den ganzen Bogen von der Batterie entfernen und an sie anlegen kann. Folgende sind die unveränderlichen Stücke des Bogens in der Ordnung von der Innenseite der Batterie aus: Der Entladungsapparat (§. 365.) und der, auf einem Tische befestigte, mit jenem verbundene allgemeine Auslader (§. 366.). Mit diesem in gleicher Höhe ist auf dem Tische ein horizontaler isolirter Messingarm befestigt, $5\frac{1}{2}$ Zoll lang, $3\frac{1}{2}$ Lin. dick, einerseits mit einer Druckschraube, die zur Verbindung des Armes

Digitized by Google

mit dem Auslader dient, andererseits mit einer Klemmschraube [405]
versehen. In der letzteren ist das Ende eines $13\frac{1}{4}$ Lin. breiten $\frac{1}{12}$ Linie dicken Kupferstreifens festgeklemmt, der nach der unter ihm stehenden Fufsplatte der Maafsflasche und weiter zu den Gasröhren des Hauses geführt ist. An dem Streifen, 33 Zoll von seinem oberen Befestigungspunkte entfernt, ist eine 18 Linien breite Messingplatte festgeklemmt, in die eine Rinne geschnitten ist; diese Rinne greift in den 20 Zoll langen $1\frac{1}{2}$ Lin. dicken Kupferdrath ein, der von der Fufsplatte der Batterie zur Maafsflasche führt. Die Messingplatte wird durch eine Feder gegen den Drath gedrückt, kann aber durch eine Schnur von ihm entfernt gehalten werden, die, über eine Rolle laufend, durch einen in der Nähe der Elektrisirmaschine befestigten Hebel regiert wird. Die Handhabung des Schliefsungsbogens ist sehr einfach. Soll er von der Batterie entfernt sein, was zur Ladung nöthig ist, so drückt man den beweglichen Arm des Entladungsapparates in die Höhe, und hebt den Kupferstreifen durch die Bewegung des Hebels von dem Zuleitungsdrathe der Maafsflasche ab; soll er zur Entladung an die Batterie angelegt werden, so löst man den Hebel, setzt dadurch den Streifen mit der äufseren Belegung der Batterie in Verbindung, und läfst dann durch eine Fufsbewegung den Arm des Entladungsapparates fallen, der die Berührung der inneren Belegung veranlafst. Die durch einen Kupferdrath vermittelte Verbindung des Kupferstreifens mit den Gasröhren hat den Erfolg, dafs in der Batterie kein Rückstand bleibt.

Dickenmessung. Zur Messung beträchtlicher Drath- 406
dicken bedient man sich mit Bequemlichkeit des sogenannten Schnabelmaafses (*pied à bec*) von Vande und Jeanray in Paris. Es besteht aus einem, in einer kantigen Hülse verschiebbaren, Maafsstabe und zwei daran befestigten Stahlfortsätzen (Fig. 96.), die sich mit ebenen Flächen berühren und von einander entfernen lassen. Ist der Drath winkelrecht gegen seine Länge zwischen diese Flächen geklemmt, so giebt der Vernier auf der Hülse die Dicke des Drathes bis $\frac{1}{24}$ Lin. an. In der Folge werden aber die Dicken sehr dünner Dräthe verlangt, zu welchen diese Messung nicht ausreicht, und die unter einem zusammengesetzten Mikroskope bestimmt werden

Digitized by Google

[406] müssen. Man bedient sich hierzu der am Mikroskope gebräuchlichen Mittel: eines im Brennpunkte des Oculars gestellten, mit einer Eintheilung versehenen Planglases, oder eines daselbst ausgespannten Fadens, der durch eine Schraube meſsbar verrückt werden kann, oder endlich eines verschiebbaren Objectträgers. Ich habe alle drei Mittel versucht, und bin bei dem letzten, als dem genauesten, stehen geblieben. Das Mikroskop, dessen ich mich bediene, hat eine Linearvergröſserung von 190, und im Brennpunkte des Oculars sind zwei unter rechtem Winkel gekreuzte Spinnefäden ausgespannt. Auf dem Objecttische ist ein Schlitten befestigt, dessen Platte, um das Licht des Beleuchtungsspiegels durchzulassen, durchbohrt und mit einer Glasplatte gedeckt ist, die in eigener Fassung eine Kreisbewegung hat. Der Schlitten wird horizontal durch eine feine Mikrometerschraube fortbewegt, deren Kopf in 100 Theile getheilt ist.

407 Das Fadenkreuz im Oculare wurde mit der Schraube des Schlittens übereinstimmend gestellt, indem ich durch Drehung der Ocularröhre bewirkte, daſs ein bemerkbarer Punkt des Schlittens, der an einem Ende eines Fadens gesehen wurde, nachdem die Schraube ihn durch das Sehfeld geführt hatte, auch an dem andern Ende des Fadens anlag. Der zweite Faden stand daher normal gegen die Schraubenbewegung, und wurde zur Messung der Drathdicken benutzt. Der Werth der Schraubengänge wurde durch fortgesetzte Messung eines auf den Schlitten gelegten Glasmikrometers bestimmt. Die Schraube fand sich, dem gröſsten Theile ihrer Länge nach, genügend gleichmäſsig geschnitten, und der Werth eines Kopfstriches ($\frac{1}{100}$ des Schraubenganges) 0,001212 pariser Linie. Man hat demnach zu dem Logarithmus eines in Theilen der Schraube gegebenen Maaſses 0,08350 — 3 zu addiren, um das Maaſs in pariser Linien zu erhalten. — Von dem zu messenden Drathe wurde ein Stück von einigen Linien Länge abgeschnitten, gerade gebogen, so daſs es sich auf eine Glasplatte leicht rollen lieſs, und auf den Schlitten gelegt. Durch Drehung der Scheibe des Schlittens und der Schraube wurde ein Rand des Drathes mit dem Faden im Oculare in Berührung gebracht, und der Stand der Schraube abgelesen, alsdann durch die Schraube

Digitized by Google

allein der andere Rand an den Faden gebracht, und wiederum [407]
abgelesen. Der Unterschied beider Ablesungen gab den Durchmesser des Drathes an. Um die Gestalt des Drathes zu prüfen, mufs man zwei auf einander winkelrechte Durchmesser messen. Es wird hierzu an jedem Ende des zu messenden Drathstückes ein Haken gebogen, so dafs die Ebenen der beiden Haken winkelrecht auf einander stehen, und eine zweifache Messung des Durchmessers vorgenommen, während der Drath auf dem einen und dem andern Haken ruht. Wenn die Durchmesser von einander bedeutend abweichen, mufs der Drath als elliptisch verworfen werden.

Man findet häufig Dräthe, die schon bei geringer Länge 408
merklich konisch erscheinen, an dem einen Ende einen gröfseren Durchmesser haben als an dem andern; solche Dräthe habe ich zu feinen Versuchen nicht benutzt. Bei abgemessenen Drathlängen wurde von jedem Ende ein Stück zur Messung abgeschnitten. Gewöhnlich wurde an jedem Stücke der Durchmesser an drei verschiedenen Stellen gemessen, und das Mittel aus den 6 Messungen für die Dicke des Drathes angenommen. Ich werde die Halbmesser der Dräthe angeben und zwar, da spätere Rechnungen mit 5stelligen Logarithmen geführt sind, in 5 Ziffern ausschreiben, obgleich schon die vierte Decimale bei den meisten Angaben nicht mehr sicher ist. Dies zeigt der wahrscheinliche Fehler des Mittels, der unter der Annahme berechnet ist, dafs der Drath vollkommen rund und cylindrisch ist, die einzelnen Abweichungen der Messungen von einander also zufällige sind. Bezeichnet $[\varepsilon_n]$ die Summe der absolut genommenen Abweichungen vom Mittel, und n die Anzahl der Messungen, so ist der wahrscheinliche Fehler einer Messung $\mu = 0{,}8453\,\frac{[\varepsilon_n]}{n-1}$ und der wahrscheinliche Fehler des Mittels $\frac{\mu}{\sqrt{n}}$ [1]).

Von 9 Platindräthen, die bei der Untersuchung der Er- 409
wärmung durch die Entladung benutzt wurden, ist der Halbmesser r durch die folgenden Messungen bestimmt worden:

---

[1]) *Bessel fundamenta astronomiae.* Regiomont. 1818. 18.

Digitized by Google

[409]	Drath I.	Ende 1.	65,1	65,1	65,5	
		2.	5,9	5,0	5,8	Mittel 65,4
			$r = 0{,}039640$ Lin.		wahrsch. Fehler	0,000084
	II.		38,5	8,5	8,5	
			38,0	8,2	8,0	38,3
			$r = 0{,}023212$		wahrsch. Fehler	0,000054
	III.		96,6	6,8	6,5	
			6,1	5,8	5,4	96,2
			$r = 0{,}058304$			0,000109
	IV.		60,2	0,1	0,0	
			59,3	9,2	9,3	59,68
			$r = 0{,}036170$			0,000104
	V.		132,9	2,8	2,6	
			3,1	2,8	2,7	132,8
			$r = 0{,}080486$			0,000029
	VI.		82,4	2,5	2,8	
			2,4	2,7	2,1	82,5
			$r = 0{,}05000$			0,000046
	VII.		53,3	3,9	3,8	
			3,9	3,8	3,5	53,7
			$r = 0{,}032545$			0,00005
	VIII.		126,8	7,0	6,8	
			5,9	5,6	5,7	126,3
			$r = 0{,}076545$			0,00014
	IX.		192,4	2,2	2,6	
			0,4	0,2	1,0	191,5
			$r = 0{,}11606$			0,000234

Berechnung des wahrscheinlichen Fehlers. Es sei die Summe der Abweichungen der einzelnen Messungen vom Mittel $= [\varepsilon_a]$, so ist der wahrscheinliche Fehler des Mittels (§. 408.) $\frac{0{,}8453[\varepsilon_a]}{\sqrt{150}}$. Dies mufs zur Reduction auf Linien mit 0,001212 multiplicirt, und da der Fehler für den Halbmesser angegeben wird, durch 2 dividirt werden. Es ist also wahrscheinlicher Fehler des Halbmessers $= 0{,}0000418\,[\varepsilon_a]$.

410 Das elektrische Thermometer. Ein Luftthermometer, in dessen Kugel ein Drath ausgespannt ist, dessen Temperaturänderung aus der Bewegung der Sperrflüssigkeit in der Thermometerröhre erkannt wird. Das erste Instrument dieser Art ist 1761 von Kinnersley angegeben[1]) seitdem

[1]) *Franklin experim. and observat.* 396.

Digitized by Google

aber vielfach verändert worden. Ich habe demselben folgende [410]
Einrichtung gegeben, und es zuerst zur Messung der Temperatur des Drathes benutzt[1]) (Fig. 97.). Eine Glaskugel von 3 — 4 Zoll Durchmesser ist an eine 200 Lin. lange enge Glasröhre angesetzt, nachdem der Rauminhalt der Kugel und der Querschnitt der Röhre bestimmt worden ist. Die erste Bestimmung geschieht durch Wägung der Wassermasse, welche die Kugel zu halten vermag, die zweite durch Wägung einer Quecksilbersäule von bestimmter Länge, mittels welcher man sich zugleich durch Verschieben überzeugt, dafs die Röhre genügend cylindrisch sei. Zur Controle dieser Wägung habe ich gewöhnlich von der Röhre einen Ring normal abschneiden lassen, und den Durchmesser der Bohrung der Röhre unter einem Mikroskope bestimmt. An das freie Ende der Röhre ist ein Glasgefäfs von 5 — 6 Lin. Oeffnung und 2 Zoll Höhe normal angesetzt; das Gefäfs dient zur Aufnahme der Sperrflüssigkeit, und wird durch einen Metallmantel vor dem Zerbrechen geschützt. Die Röhre ist auf einem in pariser Linien getheilten Metallstreifen, und dieser auf einem Brette befestigt, das mittels Gradbogen und Klemmschraube gegen ein horizontales Fufsbrett beliebig geneigt werden kann. Die Glaskugel ist an 3 Stellen geöffnet und daselbst mit aufgekitteten durchbohrten Metallfassungen versehen. Die nach hinten liegende Fassung ist mit einem eingeschliffenen Metallkegel zu verschliefsen, und dient zur Wiederherstellung des Normalstandes der Flüssigkeit in der Röhre. Die anderen beiden Fassungen liegen in einem horizontalen Durchmesser der Kugel, und sind durch aufgeschraubte Köpfe und dazwischengelegte Lederscheiben luftdicht zu schliefsen. In jede dieser Fassungen pafst ein prismatisches oder cylindrisches Metallstück (im letzteren Falle mit einem Stifte versehen, um die Drehung zu hindern), das in eine Kegelklemme (§. 366.) endigt. An dem einen Einsatzstücke *A* (Fig. 98.) ist eine Platte befestigt, so dafs nur die Basis der Kegelklemme in die Kugel treten kann. Das zweite Einsatzstück *B* endigt mit zwei Schraubenspindeln von verschiedenem Durchmesser. Um einen Drath in der Kugel des Thermo-

[1]) Poggend. Ann.* 40. 335. B. 43. 49. Repertor. d. Physik.* 6. 307.

Digitized by Google

[410] meters auszuspannen, legt man beide Einsatzstücke auf den Tisch, befestigt den (gewöhnlich spiralförmig gewundenen) Drath in beiden Kegelklemmen, schraubt den langen Stab *C* an das Stück *B*, und zieht Stab und Drath durch die Kugel. Die Schraubenmutter *D* wird sodann über den Stab geschoben, und an *B* geschraubt, bis der Drath in der Kugel hinlänglich straff gespannt ist. Nach Entfernung des Stabes werden die Köpfe auf die Fassungen geschraubt. Diese haben in ihrer Axe Druckschrauben, durch welche der Drath in der Kugel entweder unmittelbar oder (wie in der Figur) durch ein, an der Fufsplatte des Thermometers befestigtes Zwischenstück in den Schliefsungsbogen der Batterie eingeschaltet wird. Ein mit Stanniol bekleideter Mantel aus Pappe oder Gutta percha wird über die Thermometerkugel gesetzt, um jede fremde Wärme abzuhalten.

411 Der Gang des Thermometers wird durch die Temperatur des Drathes in seiner Kugel bestimmt; das Gesetz dieses Ganges findet man durch die folgende Rechnung. Erhält der Drath, nachdem alle Theile des Instrumentes, und daher auch die Luft in der Kugel die Temperatur t besitzen, die Temperatur T, so erhält diese Luft die Temperatur t', und wird durch ihren veränderten Druck die Flüssigkeit in der Röhre um θ Linien verschieben. Es sei p der Druck der Luft bei t, p' derselbe bei t' Grade der hunderttheiligen Scale, und α die Zunahme des Druckes für 1 Grad, so ist, wenn das Volumen der Luft ungeändert bleibt

$$\frac{p'}{p} = \frac{1+\alpha t'}{1+\alpha t} \text{ oder } p' - p = p\frac{t'-t}{\frac{1}{\alpha}+t}$$

Der Luftdruck wird durch die Höhe einer verticalen Quecksilbersäule gemessen. Ist der Stand des Barometers bei dem Verschlusse der Thermometerkugel $= b$, so ist $p = b$ und $p' = b +$ einer Quecksilbersäule, die der durch Verschiebung der Flüssigkeit in der Thermometerröhre drückenden Flüssigkeitssäule in dem Gefäfse gleichkommt. Die Röhre sei φ Grade gegen die Verticale geneigt, die Flüssigkeit in der Röhre um θ Linien gesunken, so beträgt die Entfernung des Standes der Flüssigkeit in Röhre und Gefäfs $\theta \cos.\varphi$ wenn der Stand in

Digitized by Google

dem Gefäfse als unverändert gelten kann. Eine Flüssigkeits- [411]
säule dieser Höhe wiegt ebenso viel wie eine Quecksilbersäule von der Höhe $\theta \frac{\cos.\varphi}{n}$, wenn n das Gewichtsverhältnifs von Quecksilber zu der Flüssigkeit bedeutet. Der vermehrte Druck $p + \frac{\cos.\varphi}{n}\theta$ ist aber bei verändertem Volumen der Luft in der Kugel beobachtet worden. Es sei bei dem Drucke p das Volumen der Luft in der Kugel $= K$ Kubiklinien, der Querschnitt der Röhre $= d$ Quadratlin., so beträgt das Volumen der Luft in Einheiten der (in Linien getheilten) Scale $\frac{K}{d} = k$, und ist durch Verschiebung der Flüssigkeit $k + \theta$ geworden. In demselben Verhältnisse wird der für das unveränderte Volumen gesuchte Druck p' gröfser sein, es ist also

$$p' = \left(b + \frac{\cos.\varphi}{n}\theta\right)\left(1 + \frac{\theta}{k}\right).$$

Wir setzen die Werthe von p und p' in die erste Glei- 412
chung und ordnen nach θ

$$\theta^2 + \left(k + \frac{nb}{\cos.\varphi}\right)\theta - \frac{n}{\cos.\varphi}\, bk\, \frac{t' - t}{\frac{1}{\alpha} + t} = 0$$

lösen diese Gleichung nach θ auf, und setzen $\frac{n}{\cos.\varphi} = e$

$$\theta = -\left(\frac{k + eb}{2}\right) + \frac{k + eb}{2}\sqrt{1 + \frac{4keb}{\left(\frac{1}{\alpha} + t\right)(k + eb)^2}(t' - t)}$$

Die Entwickelung der Gröfse unter dem Wurzelzeichen giebt, da k gegen die übrigen Gröfsen sehr grofs ist, eine stark convergirende Reihe, deren beiden ersten Glieder für alle Werthe von $t' - t$, die bei dem Thermometer vorkommen können, vollkommen ausreichen. Mit Berücksichtigung dieser Glieder erhält θ den einfachen Ausdruck

$$\theta = \frac{kb}{\left(\frac{1}{\alpha} + t\right)\left(\frac{k}{e} + b\right)}(t' - t) \quad \ldots \text{(I.)}$$

Um den Temperaturzuwachs der Luft in der Kugel $t' - t$ 413
von der Erwärmung des Drathes $T - t$ abhängig darzustellen,

Digitized by Google

[413] wollen wir die Erkaltung der Luft durch die Glashülle vernachlässigen, die während des Sinkens der Flüssigkeit stattfindet. Es ist dies um so mehr erlaubt, da dies Sinken in sehr kurzer Zeit geschieht, und die Temperaturunterschiede zwischen Luft und Hülle überall sehr gering sind. Bezeichnet T die Temperatur, M die Masse, C die Wärmecapacität des Drathes, und haben t' m c für Luft eine gleiche Bedeutung, so gilt, da der Drath durch Abgabe von Wärme an die Luft zur Temperatur derselben abgekühlt wird, die Relation

$$MC(T-t') = mc(t'-t)$$

Hieraus folgt

$$T-t = (t'-t)\,\frac{mc+MC}{MC}$$

Die Luftmasse m ist veränderlich mit dem Barometerstande b und der Temperatur t beim Abschlusse der Thermometerkugel; $m = \frac{\mu b}{1+\alpha t}$ wenn μ die Luftmasse bei 0° und 1 Linie Druck bezeichnet. Die Elimination von $t'-t$ aus der vorigen Gleichung mittels Gleichung I giebt

$$T-t = \theta\left(\frac{1}{\alpha}+t\right)\left(\frac{1}{eb}+\frac{1}{k}\right)\left(\frac{\mu bc}{MC(1+\alpha t)}+1\right) \quad \ldots \text{(II.)}$$

414 Bei Anwendung desselben Drathes in der Thermometerkugel werden also nach Gleichung II die Anzeigen des Thermometers θ proportional den Temperaturerhöhungen des Drathes sein, wenn Barometerstand b und Lufttemperatur t beim Abschlusse der Kugel constant geblieben sind. Man würde also die Beobachtungen auf denselben Barometer- und Thermometerstand reduciren müssen. Es sei der Barometerstand b in $b+db$ übergegangen, und dadurch die Anzeige θ in $\theta+d\theta$ verändert. Durch Differentiation von II erhält man die Relation

$$d\theta = -\frac{\frac{\mu c}{MC(1+\alpha t)} - \frac{k}{eb^2}}{\left(\frac{k}{eb}+1\right)\left(\frac{\mu cb}{MC(1+\alpha t)}+1\right)}\,\theta\,db$$

die dazu dient, eine Beobachtung des Instrumentes, die bei dem Barometerstande b gemacht ist, so zu corrigiren, dafs sie für den Stand $b+db$ gelten kann. Diese Correction ist aber

Digitized by Google

in allen Fällen, die bei dem Instrumente vorkommen können, [414]
aufserordentlich klein. In einem ungünstigen Falle, wenn ein Platindrath von 0,1 Lin. Dicke und 5 Lin. Länge in einer $3\frac{1}{4}$zölligen Thermometerkugel sich befände, ist die berechnete Correction bei dem Barometerstande 336 Linien

$$d\theta = -0{,}000355\,\theta\,db$$

Eine Aenderung von $\pm$ 10 Lin. im Barometerstande würde also das beobachtete θ nur um $\mp$ 0,00355 seines Werthes ändern, eine Correction die durch den Beobachtungsfehler bei Weitem übertroffen wird. Man kann deshalb die Thermometeränderung ohne Rücksicht auf den Barometerstand der Erwärmung des Drathes proportional nehmen und bei Berechnung der Formel, statt des wirklichen Barometerstandes den mittleren, 336 Linien, setzen.

Die Correction des θ, welche durch eine veränderte Luft- 415
temperatur bei dem Abschlusse der Kugel bedingt wird, ist noch geringer. Zur Entwickelung derselben schreibe man die Formel II

$$T - t = \frac{1}{\alpha}\left(\frac{1}{eb} + \frac{1}{k}\right)\left(\frac{\mu bc}{MC} + (1+\alpha t)\right)\theta$$

und differentiire nach t

$$d\theta = -\frac{\alpha\theta dt}{\frac{\mu bc}{MC} + (1+\alpha t)}$$

Hätte im vorigen Beispiele, wo die Lufttemperatur $= 15°$ angenommen war, diese 5 oder 25 betragen, so würde das beobachtete θ nur um

$$d\theta = \pm 0{,}0000948\,\theta$$

geändert worden sein, eine durchaus zu vernachlässigende Gröfse. Man kann deshalb bei Berechnung der Formel einen mittleren Werth der Lufttemperatur (15° Celsius) setzen. Es ist übrigens zu bemerken, dafs man bei Versuchen, die mit einander verglichen werden sollen, gröfsere Temperaturdifferenzen des Locals vermeiden mufs, da die Erwärmung des Drathes im Thermometer von seiner Anfangstemperatur nicht unabhängig ist. Dafs während einer Beobachtung, also während des Verschlusses der Thermometerkugel, weder die Temperatur der äufseren Luft noch der Barometerstand variiren darf, leuchtet

Digitized by Google

[415] von selbst ein; man muſs die Kugel daher vor Luftströmen schützen, und kann bei stürmischem Wetter keine Beobachtungen anstellen, da auch im wohlverschlossenen Zimmer sich jeder Windstoſs durch Verrückung der Flüssigkeit in der Thermometerröhre bemerkbar macht.

416 In der Formel II. ist noch die Masse der Luft und des Drathes in der Kugel anzugeben. Es sei K der Inhalt der Kugel, γ das specifische Gewicht der Luft, r l und g Halbmesser, Länge und specifisches Gewicht des Drathes, so ist $\mu = K\gamma \quad M = g\pi lr^2$. Hiermit wird die vollständige Formel um aus der Anzeige θ des Thermometers die Erwärmung des Drathes in ihrer Kugel zu berechnen:

$$T = \left(\frac{1}{\alpha} + t\right)\left(\frac{\cos.\varphi}{nb} + \frac{d}{K}\right)\left(\frac{Kc\gamma b}{\pi g C l r^2 (1+\alpha t)} + 1\right)\theta$$

Temperaturänderung des Drathes in Centigraden		T
Senkung der Flüssigkeit in der Röhre (Linien)		θ
der Luft in der Kugel: Volumen		K
	specif. Gewicht bei 0° und 1 Lin. Druck	γ
	Wärmecapacität b. ungeänd. Volumen	c
	Ausdehnung für 1° C.	α
des Drathes: Länge in par. Linien		l
	Halbmesser	r
	specif. Gewicht	g
	Wärmecapacität	C
der Röhre: Querschnitt		d
	Neigung gegen d. Verticale	φ
Gewicht des Quecksilbers gegen das der Thermometerflüssigkeit		n
der äufseren Luft: Temperatur		t
	Druck in paris. Linien	b

Ueber die Empfindlichkeit des Thermometers nach den Werthen der willkürlich Veränderlichen in der Formel kann erst an einer späteren Stelle gesprochen werden (§. 494.); ich gebe daher die wesentlichen Werthe für die beiden Thermometer an, die ich bei der folgenden Untersuchung gebraucht habe. Die Kugeln hatten ein Volumen von 40766 und 22668 Kubik-Linien, also einen mittleren Durchmesser von 3,56 und 2,92 paris. Zoll, die Röhren einen Querschnitt von 0,13 und 0,12 Quadr.-Lin., also eine Weite von nahe 0,40 und 0,39 paris. Lin. Die Neigung der Röhre gegen die Verticale betrug $83\frac{1}{2}^0$, die Flüssigkeit in derselben war aus Alcohol, Wasser

Digitized by Google

und Cochenillelösung so zusammengesetzt, dafs ihr specifisches [416]
Gewicht 0,919, $n = 15$ betrug. Die Temperatur des Zimmers wurde 15°, der Barometerstand 336 Linien angenommen.

Durch Einführung der bekannten Zahlenwerthe der Con- 417
stanten wird die Formel:

$$T = 287{,}9\left(\frac{\cos.\varphi}{5040} + \frac{d}{K}\right)\left(\frac{0{,}00007341\,K}{g\,Clr^2} + 1\right)\theta$$

wobei folgende Logarithmen anzuwenden sind:

log. 287,9 =	2,45917
5040	3,70243
7341	0,86575 − 5

Für ein bestimmtes Thermometer mit veränderlichem Drathe ist die Anwendung der Formel sehr bequem, da sie die Form hat

$$T = A\left(\frac{B}{X} + 1\right)\theta$$

worin A und B constant sind und X die veränderlichen Grö-
fsen des Drathes enthält. Ist log. X berechnet, so ist log. $\frac{B}{X}$ bekannt, und die neueren Logarithmentafeln geben sogleich log. $\left(\frac{B}{X} + 1\right)$, zu welchem log. A und log. θ zu addiren sind. Bleibt der Drath in der Kugel unverändert, so stehen seine Erwärmungen zu den Anzeigen des Thermometers in constantem Verhältnisse.

Verlangt man nicht die Temperatur des Drathes in der 418
Thermometerkugel, sondern die Wärmemenge W, die in dem Drathe durch die Entladung frei geworden ist, so läfst sich diese durch die Formel berechnen. Man hat durch die Multiplication mit $g\,Clr^2\pi$ die Wärmemenge

$$W = 904{,}3\left(\frac{\cos.\varphi}{5040} + \frac{d}{K}\right)\left(0{,}00007341\,K + g\,Clr^2\right)\theta$$

und giebt dieser Gleichung die zur logarithmischen Rechnung bequemere Form

$$W = A\left(\frac{B}{X} + 1\right)\theta\,X$$

Das elektrische Metallthermometer. Hierzu wird 419
eine thermometrische Spirale benutzt, die aus zwei feinen mit Gold gelötheten Silber- und Platinstreifen gewunden ist,

Digitized by Google

[419] und sich durch steigende Temperatur enger windet. Auf einer mit Stellschrauben versehenen Fufsplatte (Fig. 99.) steht eine hölzerne Säule von $6\frac{1}{4}$ Zoll Höhe, welche an einem $2\frac{1}{8}$ Zoll langen horizontalen Arme das obere Ende der 3 Zoll 7 Lin. langen Thermometerspirale hält. Der an ihrem unteren Ende befestigte Zeiger spielt über einer in Grade getheilten Kartenscheibe, die an der Holzsäule hinaufgeschoben wird, um nach dem Gebrauche die Spirale zu stützen. Ein dicker Messingdrath geht am Rande durch das Fufsbrett und endigt aufserhalb der Glasglocke, welche Spirale und Holzsäule deckt, in einer Druckschraube; innerhalb der Glocke geht der Drath an der Säule hinauf und krümmt sich dergestalt, dafs sein oberes, mit einer Klemme versehenes, Ende in der Axenrichtung der Spirale steht. Gleichfalls in der Axe der Spirale, 1 Zoll von ihrem unteren Ende, steht eine Metallklemme, von der ein Drath durch die Mitte des Fufsbrettes hindurch geht, und mit einer aufserhalb der Glasglocke stehenden Druckschraube endigt. Mittels dieser beiden Klemmen ist ein Platindrath, 61,5 Linien lang 0,08 Lin. dick, straff ausgespannt, der bei gehörigem Stande des Fufsbrettes die Axe der Spirale bildet, und durch dessen Temperaturänderung der Zeiger an der Spirale bewegt wird. — Dies Thermometer giebt kein absolutes Maafs der Erwärmung des Drathes, und kann daher nur bei einem und demselben Drathe vergleichbare Resultate liefern, da hierbei die Drehung der Spirale der im Drathe erregten Temperatur proportional ist.

Erwärmung im Schliefsungsbogen nach Gröfse und Ladung der Batterie[1]).

420 Ein elektrisches Luftthermometer, in dem ein Platindrath von 0,1 Lin. Dicke ausgespannt war, wurde in den Schliefsungsbogen einer Batterie eingeschaltet, deren Flaschenzahl von 2 bis 25 geändert werden konnte; jede Flasche hatte nahe $1\frac{1}{2}$ Quadr.-Fufs Belegung. Die in die Batterie geführte Elektri-

[1]) Poggend. Ann.* 40. 342.

Digitized by Google

citätsmenge, durch die Funken einer Maafsflasche gemessen, [420]
deren Kugeln in 1 Linie Entfernung von einander standen, wurde von 2 bis 20 gesteigert. Ich erhielt (im Mittel aus 3 Beobachtungen) bei der Entladung der Batterie folgende Werthe für das Sinken der Flüssigkeit in der Thermometerröhre, denen die nach der Formel des folgenden Paragraphs berechneten Werthe beigesetzt sind. Thermometerangabe in Linien $= \Theta$, Elektricitätsmenge $= q$, Flaschenzahl $= s$.

s	2		3		4		5		6	
q	beob. Θ	ber.	beob. Θ	ber.	beob. Θ	ber.	beob. Θ	ber.	beob. Θ	ber.
2	1,5	1,8								
3	4,3	4,0	3	2,6	2	2,0	1,5	1,6		
4	6,7	7,0	4,5	4,7	3,2	3,5	3,0	2,8	2,6	2,3
5	9,3	11,0	7,0	7,3	5,2	5,5	4,5	4,4	3,8	3,7
6	13,4	15,8	9,7	10,6	7,3	7,9	6,5	6,3	5,5	5,3
7			15	14,4	11,0	10,8	8,8	8,6	7,3	7,2
8			17,5	18,8	14,1	14,1	11,3	11,3	9,3	9,4
9					17,8	17,8	14,3	14,3	11,7	11,9
10							16,7	17,6	14,3	14,7

Es wurden nur wenige Versuche angestellt mit Zuziehung 421
der übrigen Flaschen der Batterie, die nicht genau genug gearbeitet waren, um als ganz gleich angesehen werden zu können.

s	10		15		25	
q	beob. Θ	berechn.	beob. Θ	berechn.	beob. Θ	berechn.
10	8,5	8,8	5,0	5,9	3,0	3,5
20			25,0	23,5		

Das Gesetz, dem diese Erwärmungen des Thermometers folgen, ist durch die Formel gegeben $\Theta = a\frac{q^2}{s}$, worin a eine Constante bedeutet, für die vorliegenden Versuche $= 0{,}88$. Da bei unverändertem Drathe die Erwärmungen des Thermometers denen des Drathes proportional sind (§. 417.), so hat man zugleich $T = b\frac{q^2}{s}$ oder in Worten: *Die Temperaturerhöhung, die ein continuirlicher Metalldrath im Schliefsungsbogen durch die Entladung der Batterie erfährt, ist proportional dem Producte der angehäuften Elektricitätsmenge in die Dichtigkeit derselben.*

Digitized by Google

422 Von diesem Satze werden wir häufig Gebrauch machen, um die Erwärmung eines Drathes durch eine constante Batterie und Ladung zu erhalten. Sind nämlich mehrere Beobachtungen der Erwärmung durch eine veränderliche Batterie und Ladung angestellt, so ist für jede die Constante a in der Formel $\Theta = a\frac{q^2}{s}$ zu berechnen, und das Mittel dieser Werthe für die Erwärmung des Thermometers zu nehmen, welche durch die in Eine Flasche angehäufte Elektricitätsmenge 1 hervorgebracht sein würde. Dieser specielle Werth von Θ soll mit θ bezeichnet, und *Erwärmung für Einheit der Ladung* genannt werden. Eine Berechnung der einzelnen Werthe von Θ nach θ läfst die Genauigkeit der Beobachtung erkennen. Die Erwärmung des Drathes soll, gleichgültig ob aus Θ oder θ berechnet, wie früher mit T bezeichnet werden. Ich werde in dem vorliegenden Kapitel über die elektrische Erwärmung dieselbe Bedeutung der algebraischen Zeichen beibehalten; nur erhalten a und b, mit welchen durch Versuche zu bestimmende Constanten bezeichnet werden sollen, eine verschiedene Bedeutung, die in jedem Falle durch die sie begleitenden Veränderlichen gegeben ist. Man hat zur Berechnung von θ und Θ mit $\frac{q^2}{s}$ zu dividiren und zu multipliciren, wobei die *vierte* Tafel am Schlusse des Bandes eine Erleichterung gewährt.

423 Wenn man keine Maafsflasche zur Hand hat, um die Elektricitätsmenge und Dichtigkeit in der Batterie zu bestimmen, so kann man durch die Schlagweite der Batterie das Gesetz der Erwärmung aufzeigen. Da wir in §. 393 die Schlagweite $d = b\frac{q}{s}$ gefunden haben, so erhält man nach §. 421 $T = a\,d^2 s$. Die Erwärmung ist abhängig von der Schlagweite und Flaschenzahl der Batterie. Bei der theoretischen Betrachtung mufs man aber stets wieder auf die Elektricitätsmenge zurückgehen, ohne welche eine elektrische Wirkung nicht gedacht werden kann, und mufs entweder die Dichtigkeit oder die folgende Bedingungsgröfse aufnehmen.

424 Zieht man in das Thermometer einen sehr dünnen Drath ein, und steigert in aufeinanderfolgenden Versuchen die Ladung der Batterie durch Verringerung der Flaschenzahl s, so be-

Digitized by Google

merkt man aufser der steigenden Erwärmung des Drathes eine [424]
auffallende Aenderung seiner Gestalt. Bei einer gewissen Flaschenzahl erhält der Drath durch die Entladung eine stumpfwinklige Verbiegung, wie von einem kantigen Instrumente eingedrückt, die bei dem nächsten Versuche an Tiefe zunimmt, während sich ihr andere Verbiegungen anreihen. So erscheint der Drath vielfach eingezackt, und man kann ihm sein früheres Ansehen nur durch Ausglühen und Glätten wiedergeben. Wir sehen also eine gleiche Elektricitätsmenge bei steigender mittleren Dichtigkeit einen immer gröfseren mechanischen Effect ausüben, und werden zu der Vorstellung geleitet, dafs dieser Effect sowol von der Menge der Elektricität, als der Zeit ihrer Entladung abhange, und zwar mit abnehmender Zeit zunehme. Wir bleiben bei der einfachsten Annahme stehen, dafs die Entladungszeit umgekehrt proportional der Dichtigkeit sei. Bezeichnet y die Dichtigkeit der Elektricität in den angeführten Versuchen, durch die Torsionswage oder sonst wie bestimmt, so wird die Entladungszeit proportional $\frac{1}{y}$ sein. Lassen wir die constante Elektricitätsmenge sich ändern, so leuchtet ein, dafs wenn die Menge 1 in der Zeit $\frac{1}{y}$ entladen wird, die Menge q die Zeit $\frac{q}{y}$ zur Entladung gebrauchen werde. Die Entladungszeit der Batterie $= z$ ist demnach proportional $\frac{q}{y}$ oder, wenn die einfachste Messung von y gebraucht wird, proportional $q \cdot \frac{s}{q}$, wofür man s zu schreiben pflegt. Dieser Ausdruck, in die Formel für die Erwärmung (§. 421.) eingesetzt, giebt

$$T = b\,\frac{q^2}{z}$$

Die Temperaturerhöhung eines Drathes im Schliefsungsbogen ist proportional dem Quadrate der angewandten Elektricitätsmenge, dividirt durch die Entladungszeit derselben. Für den empirischen Ausspruch der Versuche (§. 421.) ist somit ein *hypothetischer* gesetzt, der in der Folge nützlich wird.

Im vorigen Paragraphe ist der Verbiegungen eines Drathes 425
durch die Entladung hinlänglich dichter Elektricität gedacht

Digitized by Google

[425] worden, um einen hypothetischen Ausdruck des Gesetzes der Erwärmung zu finden. Hieraus folgt aber nicht, dafs die Erwärmung, die solche mechanische Wirkung stets begleitet, dem Gesetze streng folge, und es wird sogar das Gegentheil an einer spätern Stelle aufgezeigt werden. Bei Anwendung der gegebenen Formel mufs man überhaupt vorsichtig verfahren. Sie ist nur für solche Erwärmungen gültig, bei welchen der Drath weder augenblicklich (durch Glühen) noch nachhaltig (durch Verbiegung) eine Aenderung seines Ansehens erfährt, und bisher nur bewiesen für homogene continuirliche Metalldräthe, die ihrer ganzen Länge nach weder in Substanz noch Dimensionen variiren. Hierbei ist es gleichgültig, ob die Batterie, durch deren Entladung die Erwärmung erregt wird, mit positiver oder negativer Elektricität geladen ist.

Erwärmung nach den Dimensionen des Schliefsungsbogens[1]).

426 Es sei ein Thermometer unverändert an einer Stelle des Schliefsungsbogens angebracht, der Bogen an einer andern Stelle, z. B. zwischen den Armen des Ausladers, geöffnet und der Zwischenraum werde in einzelnen Versuchen mit verschiedenen Leitern ausgefüllt. Die Entladung der Batterie bewirkt eine Erwärmung des Thermometers, die für die Einheit der Ladung sehr verschieden ausfällt, je nach der Substanz und den Dimensionen des eingeschalteten Leiters. Nicht allein, dafs bei der Einschaltung von Halbleitern (Baumwolle, Papier) die Entladung keine Erwärmung im Thermometer hervorbringt, so ist dies noch der Fall bei Anwendung besserer Leiter (feuchter Leinwand, Wasser), und erst bei Metalldräthen tritt eine sichtbare Aenderung im Stande des Thermometers ein. Aber auch hiermit werden grofse Unterschiede der Erwärmung merklich, und man findet, dafs die Erwärmung desto gröfser ist, je kürzer und dicker der in den Schliefsungsbogen eingeschaltete Metalldrath ist, und dafs die Substanz des Drathes

[1]) Poggend. Ann. 43. 68 ff.

Digitized by Google

Unterschiede bedingt. Es besteht also eine Abhängigkeit der [426]
Erwärmung des Drathes im Thermometer von der Beschaffenheit eines Stückes des Schliefsungsbogens oder, da die Ausdehnung dieses Stückes ein beliebig grofses Verhältnifs zu der des ganzen Bogens haben kann, von der Beschaffenheit des ganzen Schliefsungsbogens. Dieser Abhängigkeit geben wir einen hypothetischen Ausdruck, der die experimentelle Bestimmung derselben erleichtert.

In den der Erwärmung günstigen Einschaltungen erkennen 427
wir die guten Leiter, während die ungünstigen die Halbleiter sind, von welchen wir wissen, dafs sie einen elektrisirten Körper, an den sie angelegt sind, in gröfserer Zeit entladen als die ersten. Es kann also auch hier, wie bei den Aenderungen der Erwärmung durch veränderte Dichtigkeit der Elektricität (§. 424.), vermuthet werden, dafs die Erwärmung mit der Entladungszeit der Batterie im umgekehrten Verhältnisse stehe. Ist diese Zeit bei alleiniger Anwendung des constanten Schliefsungsbogens $=1$, und ist dabei die Erwärmung des Thermometers für Einheit der Ladung $=a$ gefunden worden, so wird, wenn diese Zeit durch Einschaltung eines Leiters in die Schliefsung auf $1+z$ gestiegen ist, die Erwärmung $\frac{a}{1+z}$ sein müssen. Damit ist die Untersuchung der Erwärmung der Beschaffenheit des Schliefsungsbogens auf die der Aenderung dieser Gröfse z beschränkt. Ich will zuerst die Abhängigkeit der Gröfse z von den Dimensionen des Schliefsungsbogens darlegen, und dann die Substanz des Bogens in Betracht ziehen.

Abhängigkeit der Erwärmung von der Länge 428
des Schliefsungsbogens. Zwischen dem Halter des Kupferstreifens und dem allgemeinen Auslader wurde ein Thermometer eingeschaltet, in dem sich ein Platindrath befand. In einiger Entfernung von der Batterie wurde ein grofser Rahmen aufgestellt, dessen horizontale Querstützen, von gefirnifsten Glasröhren gebildet, 5 Fufs von einander entfernt lagen. Um diese Stützen war in weiten Gängen ein sehr langer Kupferdrath (0,29 Lin. dick) gelegt, und durch Ueberzug mit Siegellack dafür gesorgt, dafs auf den Stützen kein Uebergang von Elektricität stattfand. Die Arme des Ausladers waren

Digitized by Google

[428] mit Kegelklemmen versehen, und in jeder Klemme wurde ein spiralförmig gewundener Kupferdrath befestigt, der eine von 4 Fufs $3\frac{1}{2}$ Zoll, der andere von 5 Fufs $8\frac{1}{2}$ Zoll Länge. Die freien Enden dieser Dräthe wurden durch Umschlingung auf dem langen Drathe des Rahmens befestigt, und zuerst 3 Zoll von einander entfernt. Ich stellte die erste Versuchsreihe über Erwärmung des Thermometers bei verschiedenen Ladungen der Batterie an, löste dann das eine Ende und befestigte es an einer andern Stelle des Drathes, und versuchte die Erwärmung aufs Neue. Der Schliefsungsbogen bestand also in allen Versuchen aus Stücken derselben Beschaffenheit, die in gleicher Weise mit einander verbunden waren; nur dafs zwischen den beiden Verbindungsstellen, wo Kupferdrath um Kupferdrath geschlungen war, ein verschieden langes Stück desselben Drathes lag. Ich will die Versuchsreihe, wo dies Stück 3 Zoll lang war, zu Grunde legen, und die in den folgenden Reihen hinzukommende Drathlänge in pariser Fufsen mit λ bezeichnen. Die Erwärmung Θ ist zumeist einzelne Beobachtung. Die Kugeln der Maafsflasche waren 1 Linie von einander entfernt.

429 $\lambda = 0 \quad \Theta = 0{,}78\frac{q^2}{s}$

s	3		4		5	
q	beob.	Θ ber.	beob.	Θ ber.	beob.	Θ ber.
4	4,5	4,2				
5	6,6	6,5	5,1	4,9	4,0	3,9
6	9,2	9,4	7,4	7,0	5,6	5,6
7	12,1	12,7	9,5	9,6	7,7	7,6
8			12,0	12,5	9,8	10,0

$\lambda = 9'{,}6 \quad \Theta = 0{,}69\frac{q^2}{s}$

4	4,0	3,7				
5	6,0	5,8	4,5	4,3	3,8	3,5
6	8,1	8,3	6,2	6,2	5,2	5,0
7	11,0	11,3	8,7	8,5	6,7	6,8
8			10,7	11,0	8,7	8,8

Digitized by Google

$\lambda = 49',0 \quad \Theta = 0{,}48 \frac{q^2}{s}$ [429]

s	3		4		5	
q	beob.	Θ ber.	beob.	Θ ber.	beob.	Θ ber.
5	4,3	4,0	3,3	3,0		
6	5,6	5,8	4,3	4,3	3,5	3,5
7	7,2	7,8	5,9	5,9	4,7	4,7
8	9	10,2	7,7	7,7	6,2	6,1
9					7,7	7,8

$\lambda = 98,4 \quad \Theta = 0{,}34 \frac{q^2}{s}$

6	4,2	4,1	3,2	3,1		
7	5,5	5,6	4,3	4,2	3,4	3,3
8	6,9	7,3	5,5	5,4	4,3	4,4
9	8,2	9,2	6,7	6,9	5,4	5,5
10					6,6	6,8

$\lambda = 147,7 \quad \Theta = 0{,}27 \frac{q^2}{s}$

6	3,3	3,2				
7	4,2	4,4	3,7	3,3		
8	5,5	5,8	4,3	4,3	3,7	3,5
9	6,7	7,3	5,2	5,5	4,7	4,4
10			6,9	6,8	5,4	5,4
11					6,4	6,5

$\lambda = 246,4 \quad \Theta = 0{,}21 \frac{q^2}{s}$

6	2,5	2,5				
7	3,6	3,4	2,5	2,6		
8	4,6	4,5	3,4	3,4	2,8	2,7
9	5,5	5,7	4,1	4,3	3,6	3,4
10			5,3	5,3	4,2	4,2
11					5,1	5,1

Die Erwärmung des Thermometers nimmt mit der Länge 430
λ des zum Schliefsungsbogen zugesetzten Drathes ab. Es wird also in der Formel §. 427 $z = F(\lambda)$ gesetzt werden müssen. Wird die Constante a jener Formel aus der ersten Reihe bestimmt, wo $\lambda = 0$ gesetzt war, so kommt der Ausdruck für die Erwärmung des Thermometers durch die Einheit der Ladung

$$\theta = \frac{0{,}78}{1 + F(\lambda)}$$

Digitized by Google

[430] Hieraus bestimmen wir $F(\lambda)$ für die einzelnen Versuchsreihen, und suchen die Werthe durch eine Rechenoperation mit einer Function von λ constant zu machen. Dies gelingt durch Division mit λ, wie die folgende Tafel zeigt.

λ	θ	$F(\lambda)$	$\frac{F(\lambda)}{\lambda}$
0	0,78	0	
9,6	0,69	0,1304	0,01358
49,0	0,48	0,6250	0,01275
98,4	0,34	1,294	0,01315
147,7	0,27	1,889	0,01279
246,4	0,21	2,714	0,01101

431 Das arithmetische Mittel der Werthe von $\frac{F(\lambda)}{\lambda}$ ist mit Ausschlufs des letzten Werthes $= 0{,}013$. Dies in die obige Gleichung eingesetzt, giebt

$$\theta = \frac{0{,}78}{1 + 0{,}013\lambda}$$

wonach sich die einzelnen Werthe berechnen lassen

θ		
beobacht.	berechn.	Differenz.
0,78	0,78	
0,69	0,693	− 0,003
0,48	0,476	+ 0,004
0,34	0,342	− 0,002
0,27	0,267	+ 0,003
0,21	0,186	+ 0,024

Nur die letzte Differenz könnte bemerklich werden, in den übrigen Fällen ist die Uebereinstimmung der Formel mit der Beobachtung vollkommen. Da bei unverändertem Drathe im Thermometer die Erwärmungen von Drath und Thermometer einander proportional sind, so ist die Formel bewiesen $T = \frac{a}{1 + b\lambda}$, wo a und b durch Versuche zu bestimmende Constanten bezeichnen.

432 Einfluſs der Dicke des Schliefsungsbogens auf die Erwärmung. Eine Verminderung der Dicke des zum Schliefsungsbogen zugesetzten Drathes zieht eine Verminderung der Erwärmung des Thermometers nach sich, es mufs daher

Digitized by Google

in der Formel $T = \frac{a}{1+b\lambda}$ die Gröfse b eine Function vom [432]
Halbmesser ϱ des Drathes enthalten, die mit abnehmendem ϱ zunimmt. Ich setzte $b = \frac{1}{F(\varrho)}$, nahm für die Erwärmung θ des Thermometers die Formel $\theta = \frac{a}{1+\frac{b\lambda}{F(\varrho)}}$ und suchte $F(\varrho)$ durch Versuche zu ermitteln, in welchen verschieden dicke Dräthe zum Schliefsungsbogen zugesetzt wurden. Dieser Bogen bestand aus gut leitenden Stücken; zwischen den Armen des allgemeinen Ausladers wurden Platindräthe eingeschaltet. Um den Werth a in der Formel zu erhalten, mufs man $\frac{b\lambda}{F(\varrho)}$ sehr klein machen, welches ich dadurch erreichte, dafs ich einen 0,46 Linie dicken Platindrath in einer Länge von 1,9 Linie als Einschaltung benutzte. Die Halbmesser ϱ der benutzten Platindräthe sind in §. 409 bestimmt worden, λ ist in Linien angegeben.

$\frac{\lambda}{\varrho} = 0 \quad \theta = 1{,}35\frac{q^2}{s}$ 433

s	3		4		5	
q	beob. θ	ber.	beob. θ	ber.	beob. θ	ber.
3	4,5	4,0				
4	7,2	7,2	5,8	5,4		
5	11,2	11,3	8,5	8,4	7,1	6,8
6	16,0	16,2	12,3	12,2	9,7	9,7
7			16,3	16,5	13,5	13,2
8					16,9	17,3
	$\lambda = 144'''$		$\varrho = 0{,}116$		$\theta = 1{,}23\frac{q^2}{s}$	
4	6,8	6,4	5,4	4,8		
5	10,5	10,3	8,1	7,7	6,0	6,2
6	14,1	14,8	11,0	11,1	9,1	8,9
7	18,2	20,1	15,0	15,1	12,0	12,1
8					15,3	15,5
	$\lambda = 144$		$\varrho = 0{,}0765$		$\theta = 1{,}11\frac{q^2}{s}$	
3	3,8	3,3				
4	6,0	5,9	5,0	4,4	3,9	3,6
5	9,0	9,3	6,9	6,9	5,8	5,6
6	12	13,3	9,3	10,0	8,0	8,0
7			12,2	13,6	10,4	10,9

Digitized by Google

[433] $\lambda = 100{,}4'''$ $\varrho = 0{,}0583$ $\Theta = 1{,}06\frac{q^2}{s}$

s	3		4		5	
q	beob.	Θ ber.	beob.	Θ ber.	beob.	Θ ber.
4	5,9	5,7	4,5	4,2		
5	9,2	8,8	6,3	6,6	5,5	5,3
6	12,7	12,7	9,4	9,5	7,7	7,6
7	16,5	17,3	12,2	13,0	10,5	10,4
8					12,7	13,5

$\lambda = 144$ $\varrho = 0{,}05$ $\Theta = 0{,}91\frac{q^2}{s}$

4	5,8	4,9				
5	7,5	7,6	6,2	5,7	4,9	4,6
6	10,4	10,9	8,2	8,2	6,7	6,6
7	13,7	14,9	10,9	11,1	8,8	8,9
8			13,6	14,6	11,3	11,6

$\lambda = 84$ $\varrho = 0{,}0396$ $\Theta = 0{,}92\frac{q^2}{s}$

4	5,0	4,9				
5	7,8	7,7	5,9	5,7	4,7	4,6
6	10,6	11,0	8,2	8,3	6,8	6,6
7	14,0	15,0	10,4	11,2	9,0	9,0
8			13,4	14,7	11,0	11,8

$\lambda = 17$ $\varrho = 0{,}0325$ $\Theta = 1{,}18\frac{q^2}{s}$

3	4,0	3,5				
4	6,4	6,3	5,2	4,7	4,2	3,8
5	9,3	9,8	7,3	7,4	6,3	5,9
6	12,3	14,2	10,4	10,6	8,2	8,5
7			12,8	14,4	10,6	11,6

434 Mittels der Formel $\theta = \frac{1{,}35}{1 + \frac{b\lambda}{F(\varrho)}}$ berechnete ich zuerst die Werthe von $\frac{b}{F(\varrho)}$, und suchte diese durch Multiplication mit einer Function von ϱ constant zu machen. Dies gelang durch Multiplication mit ϱ^2, wie die folgende Tafel zeigt.

Digitized by Google

ϱ	λ	θ	$\frac{b}{F(\varrho)}$	$\frac{\varrho^2 b}{F(\varrho)}$
0,1160	144	1,23	0,000677	0,00000912
0,0765	144	1,11	0,001501	0,00000880
0,0583	100,4	1,06	0,002724	0,00000926
0,0500	144	0,91	0,003358	0,00000840
0,0396	84	0,92	0,005563	0,00000874
0,0325	17	1,18	0,008471	0,00000897

[434]

Der Mittelwerth der letzten Spalte giebt $\frac{\varrho^2 b}{F(\varrho)} = 0{,}00000888$ und die zu Grunde gelegte Formel wird damit

$$\theta = \frac{1{,}35}{1 + \frac{0{,}00000888 \,.\, \lambda}{\varrho^2}}$$

welche die beobachteten Werthe von θ folgendermafsen wiedergiebt:

θ		
beobacht.	berechn.	Differenz.
1,35	1,35	
1,23	1,233	− 0,003
1,11	1,108	+ 0,002
1,06	1,069	− 0,009
0,91	0,893	+ 0,017
0,92	0,915	+ 0,005
1,18	1,181	− 0,001

Es folgt hieraus die Formel für die Erwärmung des Drathes im Thermometer

$$T = \frac{a}{1 + \frac{b\lambda}{\varrho^2}}$$

Die Erwärmung eines Drathes durch die Entladung einer constant geladenen Batterie ist der Dauer der Entladung umgekehrt proportional; durch Einschaltung von homogenen Dräthen in den Schliefsungsbogen wird die Entladung um eine Zeit verzögert, die der Länge des eingeschalteten Drathes direct, seinem Querschnitte umgekehrt proportional ist.

Digitized by Google

435 **Einfluſs des Stoffes des Schliefsungsbogens auf die Erwärmung.** Die Erwärmung einer bestimmten Stelle im Schliefsungsbogen wird, wie durch die Dimensionen, so durch den Stoff des zugesetzten Drathes bestimmt. Die Constante b in der Formel wird also nur für ein bestimmtes Metall gelten (wir wollen Platin dazu wählen) und für jedes andere Metall mit einem Factor multiplicirt werden müssen. Das zweite Glied im Nenner der Formel heifst demnach allgemein $\frac{bx\lambda}{\varrho^2}$ und x hat für Platin den Werth 1, für ein anderes Metall einen Werth, der durch Versuche bestimmt werden muſs. Nach der Annahme drückt $\frac{bx\lambda}{\varrho^2}$ die Zeit aus, um die eine als Einheit gesetzte Entladungszeit durch den eingeschalteten Drath verzögert worden ist, x wird daher der Verzögerung der Entladung proportional sein, die auf Rechnung der Substanz des Drathes kommt. Deshalb habe ich die Eigenschaft der Metalle, die im Verhältnisse zum Platin, durch x gemessen wird, *Verzögerungskraft* genannt; die Beziehung derselben zum Leitungsvermögen ist bereits oben angegeben worden (§. 404.). Wir wollen ferner den Quotient $\frac{x\lambda}{\varrho^2} = V$ setzen und *Verzögerungswerth* nennen, so daſs also der Verzögerungswerth proportional der Verzögerung einer bestimmten Entladung durch einen beliebigen Drath, die Verzögerungskraft proportional der Verzögerung ist, die ein Drath mit den Einheiten der Dimensionen hervorbringen würde. Setzt man $x = 1$ $\varrho = 1$, so ist $V = \lambda$. Der Verzögerungswerth eines gegebenen Drathes giebt also die Länge eines Platindrathes von 1 Linie Radius an, der eine gleiche Verzögerung hervorbringen würde, wie jener Drath, und ihm daher substituirt werden kann. Die Formel für die Erwärmung einer constanten Stelle des Schliefsungsbogens nach Beschaffenheit des Bogens, und nach Ladung der Batterie heifst vollständig

$$T = \frac{a}{1 + bV} \cdot \frac{q^2}{s}$$

worin q die Elektricitätsmenge, s die Flaschenzahl, V den Verzögerungswerth des veränderlichen Theiles des Schliefsungsbogens bezeichnet, und a und b durch Versuche zu bestim-

Digitized by Google

mende Constanten bedeuten. Es ist ferner $V = \frac{x\lambda}{\varrho^2}$, wo λ [435]
Länge, ϱ Radius eines Drathes und x einen von dem Metalle des Drathes abhängigen Werth bedeutet. Für die gebräuchlichen Metalle wird x weiter unten (§. 456.) bestimmt werden.

Wir sind im Laufe der Untersuchung auf folgenden 436
Ausdruck der Entladungszeit der Batterie gekommen. Nach §. 434 ist diese Zeit für die Einheit der Ladung $(1 + bV)$, und nach §. 424 ändert sie sich bei veränderter Ladung proportional mit $\frac{q}{y} = q\frac{s}{q} = s$. Es ist also die Entladungszeit $Z = (1 + bV)s$ oder $= b\left(\frac{1}{b} + V\right)\frac{q}{y}$. Die Gröfse b hängt von dem constanten Theile des Schliefsungsbogens ab. Die Entladungszeit ist also dreien Gröfsen proportional: der Elektricitätsmenge — dem umgekehrten Werthe der Dichtigkeit derselben — der Summe einer constanten Gröfse und des Verzögerungswerthes des Schliefsungsbogens. Die Zeit nimmt ab mit dem Verzögerungswerthe V, behält aber einen endlichen Werth, wenn dieser verschwindet, im Falle also, dafs die Entladung der Batterie durch einen unendlich kurzen Drath bewirkt wird, wobei die Entladung nur einen unendlich kleinen Weg zu durchlaufen hätte. Diese Folgerung für einen, in der Praxis nicht vorkommenden, Fall hat nichts Widersinniges. Die Entladung bedarf nicht nur der Zeit, um durch den continuirlichen Schliefsungsbogen, sondern auch, um durch seine discontinuirlichen Stellen zu gehen, wo Theile des Bogens durch Druck, Löthung mit einander verbunden sind. Zwei solcher Stellen (an den Belegungen der Batterie) sind niemals vom Schliefsungsbogen zu entfernen, und daher bleibt die Zeit stets in der Formel stehen, in welcher bei der Entladung durch einen einzigen homogenen Drath, die Entladung über diese Stellen fortgeht. Hieraus folgt eine wichtige Bemerkung in Bezug auf die Entladung durch einen zusammengesetzten Schliefsungsbogen. Wir haben gesehen (§. 435.), dafs der Verzögerungswerth V die Länge eines Platindrathes von 1 Lin. Halbmesser angiebt, der dem veränderlichen Theile des Schliefsungsbogens ohne Aenderung der Erwärmung einer constanten Stelle substituirt werden kann. Man kann nun weiter schlie-

Digitized by Google

[436] fsen, dafs, wenn die Verzögerung bV einer Länge V jenes Drathes entspricht, die Verzögerung 1 der Länge $\frac{1}{b}$ entsprechen wird. Es ist also $\frac{1}{b}$ der Verzögerungswerth des constanten Theiles der Schliefsung. In dem Ausdrucke $Z = b\left(\frac{1}{b} + V\right)s$ enthalten die Klammern zwei Längen desselben Platindrathes. Diese dürfen aber nicht zusammengeworfen werden. Die Länge $\frac{1}{b}$ ist gleichwerthig mit dem constanten Theile des Schliefsungsbogens und seinen Verbindungen, die Länge V mit dem veränderlichen Theile des Bogens. Wenn dieser letztere aus einem continuirlichen Drathe besteht, so dürfen auf V alle Erfahrungen übertragen werden, die an einem continuirlichen Drathe gemacht werden, in Hinsicht auf $\frac{1}{b}$ darf dies unter keinen Umständen geschehen, da durch den substituirten Drath nothwendig Uebergangsstellen ersetzt worden sind.

437 Einfluſs specifischer Unterbrechungen des Schliefsungsdrathes auf die Erwärmung [1]). Wird aus einem homogenen metallischen Schliefsungsbogen ein Stück fortgelassen und durch ein Stück von anderen Dimensionen oder anderem Stoffe ersetzt, so können zwei Fälle stattfinden. Entweder die Entladung geht durch das neue Stück in eben der unmittelbar nicht sichtbaren Weise, wie durch den übrigen Theil des Bogens, oder sie macht sich darin durch Licht und mechanische Wirkungen merklich. Im letzten Falle sagen wir, der Schliefsungsbogen sei *specifisch unterbrochen*. Für den ersten Fall gilt die Formel der Erwärmung, die aus Versuchen an einem solchen Schliefsungsbogen abgeleitet worden ist, und wir erkennen an der Erwärmung einer constanten Stelle den Verzögerungswerth eines eingeschalteten Stückes. Bei einem specifisch unterbrochenen Schliefsungsbogen hingegen ist die Formel nicht mehr in aller Strenge anwendbar, und namentlich läfst sie keinen Schluſs zu auf das elektrische Verhalten des eingeschalteten Stückes. Ich werde auf die alsdann

[1]) Poggend. Ann.* 43. 77 ff.

Digitized by Google

gänzlich verschiedene Weise des Fortschreitens der Entladung [437]
an einem spätern Orte zurückkommen, und führe hier nur die,
auch in anderer Beziehung lehrreichen, Versuche über die Er-
wärmung an.

Es wurde zuerst die Unterbrechung des Schliefsungs- 438
bogens nur durch Luft bewirkt. Neben dem elektrischen
Thermometer war das Funkenmikrometer (§. 330.) in den
Bogen eingeschaltet und mit parallel einander gegenüber-
stehenden Messingscheiben von 10,4 Lin. Durchmesser versehen,
zwischen welchen die Entladung mit Funken überging. Ich
beobachtete folgende Erwärmungen bei verschiedener Entfer-
nung der Scheiben. s giebt die Flaschenzahl der Batterie, q
die Elektricitätsmenge an, zu deren Messung die Kugeln der
Maafsflasche 1 Linie von einander entfernt standen.

s	q	Die Scheiben		
		in Berührung.	0,1 Lin. entfernt.	1,0 Lin. entfernt.
		Erwärmung des Thermometers.		
3	3	4,8	4,7	5,3
	4	7,7	7,0	7,0
	5	11,0	10,9	10,3
	6	15,6	14,5	13,7
4	4	6,0	6,0	7,3
	5	8,5	8,5	9,3
	6	12,2	11,9	12,0
	7	15,6	15,5	14,6
5	5	7,6	6,7	
	6	10,3	10,0	10,7
	7	12,9	12,3	13,0
	8	17,0	16,2	16,0

Als die Scheiben einander berührten, ging die Entladung durch einen ganz metallischen Schliefsungsbogen, als sie von einander entfernt waren, mufste die Entladung eine Luftschicht, also einen schlechten Leiter, durchlaufen, und dennoch sind die Erwärmungen der zweiten und dritten Spalte nicht kleiner als die der ersten. Die Erwärmung im constanten Theile des Schliefsungsbogens lehrt hier also Nichts über die Verzögerungskraft des eingeschalteten Körpers. Da bei der Entfernung der Scheiben ein bedeutender Rückstand von Elektricität in der Batterie blieb, so hätte die Erwärmung, auch abgesehen

Digitized by Google

[438] vom Schliefsungsbogen, kleiner ausfallen müssen, als bei der Berührung der Scheiben. Dieser Umstand bedarf einer besondern Erörterung.

439 Die Erwärmungen in der zweiten Spalte sind zwar durchgängig kleiner, als die der ersten, aber doch nur um so wenig, dafs sie durch die bei jeder Beobachtung in der Batterie zurückgebliebene Elektricität nicht erklärt werden können. In der dritten Reihe, wo die Scheiben 1 Linie entfernt standen und der Rückstand von Elektricität noch bedeutend gröfser sein mufste, finden wir theils kleinere theils gröfsere Erwärmungen als in der ersten Reihe, und es zeigt sich deutlich, dafs bei diesen Versuchen zwei Umstände eintreten, die auf die Erwärmung des Drathes im Thermometer in entgegengesetztem Sinne wirken. Der eine Umstand ist das schon erwähnte Zurückbleiben von Elektricität in der Batterie, durch das die Erwärmung offenbar vermindert werden mufs; um den andern aufzufinden, mufs man bedenken, dafs bei der gewöhnlichen Entladung der Batterie die Elektricität zwischen den Kugeln des Entladungsapparates überspringt, dies aber hier nicht überall der Fall sein konnte. Die Entfernung der Kugeln, bei welcher dies Ueberspringen eintritt, die Schlagweite, hängt nämlich von der Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie ab. War die Entfernung der beiden Scheiben im Schliefsungsbogen kleiner, als die Schlagweite zwischen den Kugeln, so sprang die Entladung im Entladungsapparate und zwischen den Scheiben über, war jene hingegen gröfser, nur zwischen den Scheiben. In dem letzteren Falle wird die Elektricität vor der Entladung gegen den Rand der Scheiben hin condensirt (§. 130.). Nach den Versuchen über die Erwärmung müssen wir schliefsen, dafs durch diese Condensation die Entladungszeit der Elektricität verringert wird. Wenn daher bei den sich berührenden Scheiben eine gewisse Elektricitätsmenge in einer bestimmten Zeit entladen wird, so ist bei den entfernten Scheiben die Menge kleiner, aber zugleich die Zeit der Entladung kürzer. Dieser letzte, der Erwärmung im Thermometer günstige, Umstand überwiegt in allen Fällen, wo die Entladung nur zwischen den Scheiben stattfindet, was in den obigen Versuchen bei Entfernung der Scheiben von 1 Linie für elektrische

Digitized by Google

Dichtigkeiten geschah, die nicht gröfser als 1,25 waren. In [439]
den übrigen Fällen scheint die Condensation auf den Scheiben nur unvollständig gewesen zu sein, so dafs der Einfluſs der Verminderung der Elektricität merklich werden konnte. Dafs überall, also auch in den Versuchen, wo die Entladung zwischen den Scheiben und den Kugeln übersprang, eine Condensation der Elektricität auf den Scheiben stattgefunden hatte, zeigte sich durch das Ansehen der Scheiben. Als diese nach den angeführten Versuchen auseinander genommen wurden, erschienen die durch die Entladungen verursachten Flecken gegen den Rand der Scheiben zusammengedrängt; nur wenige standen ihrem Mittelpunkte nahe, keiner näher als 2 Linien.

An die Stelle der Scheiben wurden Kugeln (die eine von 440
5,7 die andere von 4,4 Lin. Durchmesser) auf das Funkenmikrometer gesteckt, welche die Luftschicht im Schliefsungsbogen begränzten. Es wurden folgende Erwärmungen im Thermometer beobachtet.

s	q	Die Kugeln	
		in Berührung.	1 Linie entfernt.
		Erwärmung im Thermometer.	
3	3	5,0	keine Entl.
	4	7,7	8,0
	5	11,2	10,0
	6	16,0	14,3
4	4	6,1	keine Entl.
	5	8,8	8,8
	6	12,5	11,3
	7	15,0	14,8
5	5	7,0	keine Entl.
	6	9,8	keine Entl.
	7	12,5	12,4
	8	15,3	15,3

Die Entladung konnte hier erst eintreten, wenn die Dichtigkeit in der Batterie den Werth 1,25 erreichte. Die Condensation von Elektricität an den kleinen Kugeln kann nur unbedeutend gewesen sein, da ihr der Erwärmung günstigster Effect darin besteht, den Verlust an Elektricitätsmenge durch Verringerung der Entladungszeit gerade zu ersetzen. Hier, wie bei den Versuchen mit Scheiben oder Spitzen war es übri-

Digitized by Google

[440] gens gleichgültig, ob die Unterbrechung im Schliefsungsdrathe vom Thermometer aus gegen die innere oder äufsere Belegung der Batterie hin lag. Wird die Unterbrechung durch Spitzen bewirkt, so findet die Aenderung der Erwärmung in zwiefachem Sinne nicht statt, man bemerkt nur die Verminderung der Erwärmung, die mit der Entfernung der Spitzen zunimmt. Als in einer Versuchsreihe die Spitzen 4 Lin. von einander standen, trat die Entladung noch bei einer Dichtigkeit der Elektricität von 1,2 ein, alle Erwärmungen im Thermometer waren bedeutend kleiner, als wenn die Spitzen in Berührung standen. Die successive Ueberführung der Elektricität durch Spitzen und der Rückstand von Elektricität in der Batterie machen die bedeutende Verringerung der Erwärmung erklärlich. — Bei allen diesen Versuchen blieb also die elektrische Natur des Zwischenkörpers, der Luft, aufser dem Spiele, und die Erwärmung hing allein ab von dem Verhalten der Elektricität auf den die Unterbrechung begränzenden Flächen.

441 Die specifische Unterbrechung des Schliefsungsbogens wurde nun durch starre Isolatoren oder Halbleiter bewirkt. Der Luftzwischenraum, in den der starre Körper gestellt wurde, wurde durch Scheiben, Kugeln oder Spitzen begränzt und betrug 0,2 Linien, gab also für sich eine Erwärmung im Thermometer, die von der bei ganz metallischer Schliefsung nicht merklich verschieden war.

Die Scheiben.	$\frac{q}{s} = \frac{6}{5}$	Erwärmung.	
zwischen denselben:	Luftschicht	9,6	
	ein Kartenblatt	6,0	7,0
	zwei Kartenblätter	3,9	4,5
	Glimmerblatt	keine Entl.	
	$\frac{q}{s} = \frac{8}{5}$		
	Luftschicht	15,8	16,0
	ein Kartenblatt	11,6	11,7
	zwei Blätter m. dazwischengelegtem Stanniol	9,5	9,8
	zwei Kartenblätter	8,5	7,4
	Glimmerblatt	7,4	6,2

Digitized by Google

Die starren Zwischenkörper wurden bei der Entladung [441]
durchbohrt, die Durchbohrung geschah, mit Ausnahme des Glimmers, an Stellen der Körper, die dem Rande der Metallscheiben nahe lagen; der Knall der Entladung war um so heftiger, je geringer die ihn begleitende Erwärmung im Thermometer ausfiel.

Eine andere Versuchsreihe gab, bei Bildung des Zwischen- 442
raumes durch die erwähnten Kugeln, folgende Resultate:

Die Kugeln. $\frac{q}{s} = \frac{8}{5}$		Erwärmung.
zwischen denselben:	Luftschicht	15,4
	ein Kartenblatt	12,0
	zwei Blätter mit Stanniol	9,3
	zwei Blätter	8,8
	Glimmerblatt	4,9
	dasselbe	4,5

Endlich wurde der Versuch mit Spitzen angestellt, die wie die früheren Körper, 0,2 Linie von einander entfernt standen:

Die Spitzen. $\frac{q}{s} = \frac{8}{5}$	Erwärmung.
Luftschicht	15,1
ein Kartenblatt	11,6
zwei Blätter	10,4
Glimmerblatt, verschiedene Stellen	6,3 4,0 5,7 3,2

Aus allen diesen Versuchen geht hervor, dafs die Erwär- 443
mung im Thermometer nicht von der besondern elektrischen Beschaffenheit des Körpers abhängt, der den Schliefsungsbogen specifisch unterbricht, sondern von der mechanischen Wirkung, welche die Entladung auf den Körper ausübt, und dafs die Erwärmung in umgekehrter Beziehung zu dieser Wirkung steht. Ein Glimmerblatt drückt die Erwärmung stärker herab, als ein Kartenblatt, weil die Durchbohrung des ersten eine stärkere mechanische Kraft verlangt, als die des letzteren. Dies zeigt sich besonders auffallend bei den verschiedenen Erwärmungen, die bei Durchbohrung desselben Glimmerblattes stattfinden. Der Glimmer wird nämlich selten an der Stelle durchbohrt, mit der er den Schliefsungsbogen unterbricht; fast immer geht die

Digitized by Google

[443] Entladung auf dem Glimmerblatte eine längere Strecke fort. und durchbohrt es entweder an einer Stelle, die eine geringere Continuität hat, oder sie findet auf dem Rande des Blattes statt. Die Erwärmung fällt, wie die folgenden Versuche zeigen, desto kleiner aus, einen je längeren Weg die Entladung auf dem Blatte zurückgelegt hat. Da sich die Glimmermasse auf diesem ganzen Wege dauernd verändert zeigt, so steht auch hier die Erwärmung in umgekehrter Beziehung zu der mechanischen Wirkung der Entladung.

Die Scheiben. $\frac{q}{s} = \frac{8}{5}$ Erwärmung bei Luftschicht = 16,0

Entfernung der Ansatzstelle von der Durchbohrungsstelle auf dem Glimmer	3‴	5¼‴	8‴	8¾‴	9¼‴
Erwärmung im Thermometer	8,5	7,4	5,5	4,9	4,5

Die Spitzen. $\frac{q}{s} = \frac{8}{5}$ Erwärmung bei Luftschicht = 15,1

Entfernung der beiden Stellen	6¼‴	7½‴	12‴	13¼‴
Erwärmung im Thermometer	6,3	5,7	4,0	3,2

444 Die erwärmende Wirkung der elektrischen Entladung hängt von der entladenen Elektricitätsmenge ab und der Zeit, in der sie entladen worden. Bei den Versuchen mit specifischer Unterbrechung des Schliefsungsbogens ist zwar ein Theil der Elektricität in der Batterie nach der Entladung zurückgeblieben, aber die Gröfse dieses Rückstandes, nach der Stärke des Funkens bei seiner Entladung beurtheilt, fand sich bei den einzelnen Fällen keineswegs so verschieden, um die bemerkte Verschiedenheit der Erwärmung erklären zu können. Wir würden annehmen müssen, dafs z. B. bei Einschaltung des Glimmers in den Schliefsungsbogen, mehr als die Hälfte der angewandten Elektricitätsmenge in der Batterie geblieben wäre, eine Menge, die sich auch der rohen Beobachtung nicht hätte entziehen können. Zur Erklärung der Versuche bleibt daher nur übrig anzunehmen, dafs durch die einzelnen Zwischensetzungen die Entladungszeit verändert worden ist, und dafs diese Dauer desto gröfser sei, eine je gröfsere mechanische Wirkung die Entladung hervorgebracht hat. Mit dieser Annahme stimmt auch die Erfahrung, dafs die Durchbrechung einer Luftschicht die Erwärmung unmittelbar nicht merklich ändert.

Digitized by Google

Erwärmung verschiedener Stellen des Schliefsungsbogens durch die Entladung[1]).

Es ist bisher eine constante continuirliche Stelle des Schlie- 445
fsungsbogens, die in die Kugel des Thermometers eingeschlossen war, auf ihre Erwärmung durch die Entladung untersucht, und die Abhängigkeit der Erwärmung von der Beschaffenheit des ganzen Bogens bestimmt worden. Aber jede andere Stelle des Bogens wurde gleichfalls erwärmt, und es ist nöthig die Verschiedenheit der Erwärmung, falls eine solche stattfindet, nach der Beschaffenheit der untersuchten Stelle zu ermitteln. Diese Untersuchung könnte ohne Beschränkung geführt, es könnte das Thermometer mit verschiedenen darin eingeschlossenen Dräthen in den Schliefsungsbogen gebracht und die Erwärmung untersucht werden, da die Veränderung, welche die Erwärmung durch Aenderung des Schliefsungsbogens erleidet, nach der früheren Untersuchung bestimmt und in Rechnung gesetzt werden kann. Der Uebersichtlichkeit der Resultate wegen soll indefs anders verfahren werden. Wir wollen die Stellen, deren Erwärmung verglichen werden soll, gleichzeitig im Schliefsungsbogen anbringen und nach einander in das Thermometer einschliefsen. Dann bleibt der Schliefsungsbogen in den mit einander verglichenen Fällen unverändert, wir brauchen nicht auf die frühere Untersuchung zurückzugehen, und können uns der einfachen Formel bedienen $T = a\frac{q^2}{s}$. Die Veränderung von a wird den Einfluſs der untersuchten Stelle auf ihre Erwärmung erkennen lassen.

Erwärmung einer continuirlichen Stelle nach 446
ihrer Länge. Das Thermometer wurde zwischen dem allgemeinen Ausladen und dem Stativ des Kupferstreifens (§. 405.) eingeschaltet, so daſs die Arme des Ausladers frei blieben. Von einem Platindrathe wurde eine abgemessene Länge, die mit l bezeichnet werden soll, in das Thermometer eingezogen, und eine andere Länge desselben Drathes zur Verbindung der Arme des Ausladers benutzt. Diese beiden Längen wurden in ein-

[1]) Poggend. Ann.* 43. 53 ff.

Digitized by Google

[446] zelnen Versuchen verändert, aber so, dafs die Summe derselben 129,7 Lin. betrug. Aus jeder Versuchsreihe über die Erwärmung Θ des Thermometers, die durch eine verschiedene Elektricitätsmenge q und Flaschenzahl s erhalten wurde, ist ein Mittelwerth θ für Einheit der Ladung nach der Formel $\Theta = \theta \frac{q^2}{s}$ abgeleitet, und das Anschliefsen dieses Werthes an die beobachteten Werthe durch Berechnung der Θ dargelegt. Die Kugeln der Maafsflasche standen 1 Linie von einander, Θ ist Mittel aus 2 Messungen.

447

$l = 123''',7$ (Einschaltung 6''')
$\theta = 1{,}32$

s	3		4		5	
q	beob. Θ	ber.	beob. Θ	ber.	beob. Θ	ber.
3	4,7	4,0				
4	7,3	7,0	5,4	5,3		
5	10,7	11,0	8,4	8,3	7,0	6,6
6	15,8	15,8	12,0	11,9	9,6	9,5
7			16,0	16,2	12,7	12,9
8					16,3	16,9
	$l = 96,7$ (Einschaltung 33''') $\theta = 1{,}0$					
4	5,8	5,3				
5	8,9	8,3	6,0	6,2	4,9	5,0
6	12,0	12,0	9,3	9,0	7,1	7,2
7	16,2	16,3	12,3	12,2	9,8	9,8
8			15,6	16,0	12,0	12,8
	$l = 67,7$ (Einschaltung 62''') $\theta = 0{,}74$					
4	4,2	3,9				
5	6,4	6,2				
6	9,2	8,9	6,7	6,7		
7	11,6	12,1	9,0	9,1	7,7	7,3
8			12,1	11,8	9,7	9,5
9			14,5	15,0	11,3	12,0
10					13,3	14,8
	$l = 42,0$ (Einschaltung 87''',7) $\theta = 0{,}46$					
5	4,3	3,8				
6	5,4	5,5				
7	7,3	7,5	6,2	5,6	5,0	4,5
8	10,2	9,6	7,4	7,4	6,0	5,9
9			8,8	9,3	7,2	7,5
10			10,6	11,5	8,8	9,2

Digitized by Google

In allen vier Reihen war der Schliefsungsbogen unver- 448
ändert, da eine gleiche Länge Platindrathes mit gleichen Verbindungsstücken in ihm vorhanden war. Für Einheit der Ladung ist daher die Erwärmung des Drathes im Thermometer durch den Ausdruck gegeben $T = a$, wo T aus den abgeleiteten Erwärmungen θ zu berechnen bleibt. Der Platindrath im Thermometer hatte einen Halbmesser $r = 0{,}03964$ Lin. und die Constanten der Formel (§. 417.)

$$T = A\left(\frac{B}{X} + 1\right)\theta$$

wurden nach den Maafsen des Thermometers folgendermafsen bestimmt:

$$\log. A = 7{,}86885$$
$$\log. B = 0{,}65678 - \log. r^2 = 3{,}46058$$

ferner die Veränderliche: $X = l$

Hiernach findet man die Erwärmung der verschiedenen Dräthe durch die Einheit der Ladung, wie folgt:

Länge l	θ	Erwärmung T
123,7 Lin.	1,32	0,238 Grad. Cels.
96,7	1,00	0,228
67,7	0,74	0,239
42,0	0,46	0,237

Die Erwärmungen entfernen sich so wenig von einander, dafs die Unabhängigkeit der Gröfse a von l in der Formel $T = a\frac{q^2}{s}$ klar ist. Die Erwärmung eines Drathes durch die elektrische Entladung ist unabhängig von seiner Länge.

Erwärmung einer Stelle der Schliefsung nach 449
ihrer Dicke. Je zwei verschieden lange und dicke Platindräthe wurden in dem Schliefsungsbogen gleichzeitig angebracht, der eine im Thermometer, der andere im Auslader. Nachdem eine Versuchsreihe über die Erwärmung des einen Drathes angestellt war, wurde die Lage der Dräthe vertauscht, und die Erwärmung des zweiten Drathes bestimmt. Die Vergleichung der beiden Erwärmungen läfst den Einflufs der Dicke des Drathes erkennen. Es wurden die in §. 409 gemessenen Dräthe angewendet, die mit den dort gebrauchten römischen Ziffern bezeichnet werden. Die angegebenen Maafse beziehen sich

Digitized by Google

[449] auf den zuerst bezeichneten Drath im Thermometer. Θ ist gröfstentheils einzelne Beobachtung.

Drath I. (Einschaltung V.)
$r = 0{,}0396'''$ $l = 86''',2$ $\theta = 1{,}05$

s	3		4		5	
q	beob.	Θ ber.	beob.	Θ ber.	beob.	Θ ber.
4	6,4	5,6				
5	8,8	8,8	7,0	6,6	6,0	5,3
6	12,0	12,6	9,8	9,5	7,6	7,6
7	15,9	17,2	12,5	12,9	10,4	10,3
8			16,2	16,8	13,0	13,4

Drath V. (Einschaltung I.)
$r = 0{,}0805$ $l = 105{,}4$ $\theta = 0{,}25$

5	3,0	2,1				
7	4,8	4,1	3,7	3,1		
9	6,8	6,8	5,7	5,1	4,5	4,1
11	9,1	10,1	7,2	7,6	6,0	6,1
13			9,2	10,6	8,0	8,4
15					9,5	11,2

450 In der Reductionsformel

$$T = A\left(\frac{B}{X} + 1\right)\theta$$

ist nach §. 448

$\log. A = 7{,}86885$ $\log. B = 0{,}65678$ $X = lr^2$

Es ist daher für Drath I Erwärmung $T = 0{,}2684$ Grad
- - V - 0,0141 -

Diese Erwärmungen stehen nahe im umgekehrten Verhältnisse der vierten Potenzen der Drathdicken. Legen wir die erste Zahl zu Grunde, so ergiebt sich die Erwärmung des zweiten Drathes nach dem angegebenen Verhältnisse 0,0158. Dies setzt für Drath V $\theta = 0{,}279$ voraus, so dafs das beobachtete θ um $\frac{1}{8{,}6}$ zu klein gefunden wäre. Bei einem so dicken Drathe, wie V, sinkt die Flüssigkeit in der Thermometerröhre sehr langsam, die Erkältung der eingeschlossenen Luft durch die Glashülle wirkt auf alle Anzeigen des Thermometers vermindernd ein, und erklärt die angegebene Differenz.

Digitized by Google

Drath IV. (Einschaltung III.) 451
$r = 0{,}036'''$ $l = 59'''{,}7$ $\theta = 0{,}91$

s	3		4		5	
q	beob.	Θ ber.	beob.	Θ ber.	beob.	Θ ber.
4	5,3	4,9	4,0	3,6		
5	7,1	7,6	6,0	5,7	5	4,6
6	10,2	10,9	8,2	8,2	6,8	6,6
7	12,8	14,9	10,7	11,1	8,4	8,9
8					11,0	11,6

Drath III. (Einschaltung IV.)
$r = 0{,}058$ $l = 100{,}4$ $\theta = 0{,}56$

4	3,8	3,0				
6	7,0	6,7	5,7	5,0	4,3	4,0
8	11,2	11,9	9,3	9,0	7,6	7,3
10			13,2	14,0	10,9	11,2
12			16,5	20,2	14,3	16,1

Man findet für Drath IV die Erwärmung 0,3975
- - III - 0,0592

Die Berechnung der Erwärmung nach dem Gesetze der Biquadrate der Halbmesser giebt für die letzte Zahl 0,0589, in vollkommener Uebereinstimmung mit der Beobachtung.

Drath II. (Einschaltung I.) 452
$r = 0{,}023$ $l = 42{,}2$ $\theta = 0{,}89$

4	5,3	4,8				
5	7,4	7,4	6,0	5,6	4,4	4.4
6	10,3	10,7	8,5	8,0	6,6	6,4
7	14,2	14,5	11,0	10,9	8,4	8,7
8			13,5	14,2	10,7	11,4

Drath I. (Einschaltung II.)
$r = 0{,}0396$ $l = 85{,}8$ $\theta = 0{,}62$

4	3,8	3,3				
5	5,7	5,2	4,6	3,9		
6	7,2	7,4	5,8	5,6	4,6	4,5
7	9,2	10,1	7,5	7,6	5,9	6,1
8			9,0	9,9	8,0	7,9
9					9,1	10,0

Für Drath II Erwärmung 1,3196
- I - 0,1588

Nach dem Verhältnisse der Biquadrate der Halbmesser berechnet, ist die letzte Zahl 0,155.

Digitized by Google

453 Die aufgeführten Versuche geben die Formel $T=\frac{a}{r^4}\frac{q^2}{s}$. Die Erwärmungen verschiedener gleichzeitig im Schliefsungsbogen befindlichen Dräthe desselben Stoffes sind unabhängig von der Länge, und stehen im umgekehrten Verhältnisse der Biquadrate der Halbmesser der Dräthe.

Hat man also n Dräthe desselben Stoffes im Schliefsungsbogen, so bestimmt die Erwärmung eines einzigen Drathes die aller übrigen. Es ist alsdann a in der Formel bekannt, und die Erwärmung jedes Drathes wird gegeben, wenn man seinen Halbmesser r in die Formel einsetzt. Die Aenderung, welche diese Erwärmung durch Veränderung des Schliefsungsbogens erfährt, ist aus der früheren Untersuchung bekannt (§. 435.). Bezeichnet V den Verzögerungswerth des zum Schliefsungsbogen hinzugesetzten Drathes, so hat man

$$T=\frac{a}{r^4}\cdot\frac{1}{1+bV}\cdot\frac{q^2}{s}$$

und nach dieser Formel ist auch die Erwärmung von Dräthen zu berechnen, die sich nicht gleichzeitig im Schliefsungsbogen befinden. Der zugesetzte Drath habe Länge λ, Halbmesser ϱ, so ist, da der Stoff des Drathes ungeändert bleibt, $V=\frac{\lambda}{\varrho^2}$ und die Erwärmung dieses Drathes erhält man, wenn man $r=\varrho$ setzt, also $T=\frac{a}{\varrho^2(\varrho^2+b\lambda)}\cdot\frac{q^2}{s}$.

454 Die relativen Wärmemengen, welche ein Körper durch Erwärmung erhält, berechnet man durch Multiplication seiner Temperaturerhöhung mit seiner Wärmecapacität und Masse. Die letztere ist dem Producte des Volumens in das specifische Gewicht des Körpers gleich. Da in dem vorliegenden Falle das Metall des erwärmten Drathes ungeändert bleibt, und a eine empirische Constante bezeichnet, so genügt es, die Temperaturerhöhung mit lr^2 zu multipliciren, wo l die Länge, r den Halbmesser des Drathes bedeutet. Es wird also die erhaltene *Wärmemenge* W des durch die Entladung der Batterie erwärmten Drathes

$$W=\frac{al}{r^2}\frac{1}{1+bV}\frac{q^2}{s}$$

Digitized by Google

Bei ungeändertem Metalle ist der Verzögerungswerth V [454] eines Drathes proportional $\frac{\lambda}{\varrho^2}$ (§. 453.), und es folgt daher, dafs die Wärmemengen, die durch dieselbe Entladung in Dräthen eines Metalles aber verschiedener Dimensionen frei gemacht werden, den Verzögerungswerthen dieser Dräthe proportional sind. Wir werden dies merkwürdige Gesetz weiter unten ganz allgemein aussprechen können; ich habe den speciellen Fall hervorgehoben, weil das Gesetz sich darin unmittelbar darstellt, und in der That hier von mir zuerst bemerkt worden ist.

Einfluſs der Substanz einer Stelle auf ihre Er- 455
wärmung. In der Formel $T = \frac{a}{r^4}\frac{1}{1+bV}$, wo $V = \frac{x\lambda}{\varrho^2}$ (§. 435.), bedeutet a die Erwärmung eines Platindrathes von 1 Linie Radius durch die Elektricitätsmenge 1, die in der Zeiteinheit entladen wird. Voraussichtlich wird dies a für andere Metalle einen andern Werth haben, also für diese mit einem Factor y multiplicirt werden müssen. Wir wollen statt a in der Formel ay setzen, den Factor y elektrisches *Erwärmungsvermögen* der Metalle nennen, und für Platin $=1$ annehmen. Das Erwärmungsvermögen giebt daher die relative Erwärmung von Metalldräthen gegen einen Platindrath gleicher Dicke an, wenn sich alle Dräthe gleichzeitig im Schliefsungsbogen der Batterie befinden. Ich habe die Bestimmung von y für die gebräuchlichen Metalle zugleich mit der der Verzögerungskraft (§. 435.) ausgeführt, da, wie sich zeigen wird, beide Bestimmungen Eine Beobachtung gemein haben.

Bestimmung der Verzögerungskraft und des Erwärmungsvermögens einiger Metalle[1]).

Es sollen in der Formel 456

$$T = \frac{ay}{r^4}\frac{1}{1+\frac{bx\lambda}{\varrho^2}} \quad \ldots \quad (1)$$

die Werthe von y (dem Erwärmungsvermögen) und x (der

[1]) Poggend. Ann.* 45. 1 ff.

Digitized by Google

[456] Verzögerungskraft) für einige Metalle bestimmt werden. T bezeichnet die durch die Einheit der Ladung erregte Erwärmung in einem Drathe, dessen Länge l, dessen Radius r ist; λ und ϱ bezeichnen Länge und Radius eines Drathes, der zu einem constanten Schliefsungsbogen hinzugesetzt worden. Zur Bestimmung von x wurde hinter dem allgemeinen Auslader ein Thermometer in den Schliefsungsbogen der Batterie eingeschaltet. In der Thermometerkugel befand sich ein Platindrath von 59,25 Lin. Länge, 0,04098 Lin. Radius. Die Arme des Ausladers waren mit Kegelklemmen versehen, in welchen ein Drath des zu prüfenden Metalles in genau abgemessener Länge befestigt wurde. Da bei allen Versuchen der Drath im Thermometer unverändert blieb, so kann in Formel (1) statt der wirklichen Erwärmung des Platindrathes die ihr proportionale Erwärmung des Thermometers θ gesetzt werden. Setzt man ferner $\frac{a\,y}{r^4} = a'$, so erhält man, wenn λ und ϱ Länge und Radius eines im Auslader befindlichen Platindrathes bedeuten,

$$bx = \left(\frac{a'}{\theta} - 1\right)\frac{\varrho^2}{\lambda}$$

Es werde nun in den Kegelklemmen ein Drath eines andern Metalles von der Länge $\lambda_{,}$ und Radius $\varrho_{,}$ befestigt; ist nun eine Thermometeränderung $\theta_{(,)}$ beobachtet, so hat man gleicherweise

$$bx_{,} = \left(\frac{a'}{\theta_{(,)}} - 1\right)\frac{\varrho_{,}^2}{\lambda_{,}}$$

daher die Verzögerungskraft des zweiten Metalles, die des Platins $= 1$ gesetzt,

$$x_{,} = \left(\frac{a'}{\theta_{(,)}} - 1\right)\frac{\varrho_{,}^2}{\lambda_{,}} \text{ dividirt durch } bx \ldots (2)$$

457 Die Werthe von a' und bx, die allen Versuchen über die Verzögerungskraft zu Grunde liegen, wurden durch die folgenden drei Beobachtungsreihen bestimmt. Im Thermometer befand sich ein Platindrath von 59,25 Lin. Länge, zwischen den Armen des Ausladers wurden drei verschiedene Längen λ desselben Drathes befestigt. Die Kugeln der Maafsflasche waren in die Entfernung von $\frac{1}{2}$ Linie gestellt, und zwei Entladungen

Digitized by Google

der Flasche wurden zur Einheit der Elektricitätsmenge ge- [457]
nommen. Θ ist Mittel aus zwei Beobachtungen.

$\lambda = 34''',67 \quad \theta = 1{,}37$

s	3		4		5	
q	beob.	Θ ber.	beob.	Θ ber.	beob.	Θ ber.
3	4,8	4.1				
4	7,7	7,3	5,7	5,5	4,8	4,4
5	10,6	11,5	8,6	8,6	7,2	6.9
6	15,1	16,4	11,5	12,3	9,5	9,9
7			15,4	16,8	12.6	13.4
	$\lambda = 87.62 \quad \theta = 1{,}01$					
3	3,8	3,0				
4	5,8	5,4	4,5	4,0		
5	8,4	8,4	6,5	6,3	5,3	5,1
6	10.8	12.2	8,6	9,1	7,0	7,3
7			11.4	12,4	9.2	9,9
8					11.7	12,9
	$\lambda = 143{,}5 \quad \theta = 0{,}79$					
4	4.6	4,2				
5	6.5	6.6	5,2	4,9	4,2	4,0
6	9,0	9,5	7,2	7,1	5,8	5,7
7	12,0	12,9	9,4	9,8	7,5	7,7
8			11.5	12,6	9.8	10,1

Aus je zwei Werthen von λ und θ lassen sich $\frac{bx}{\varrho^2}$ und a' in der Gleichung $\frac{bx}{\varrho^2} = \frac{1}{\lambda}\left(\frac{a'}{\theta} - 1\right)$ bestimmen. Der Mittelwerth der sechs berechneten Werthe giebt $a' = 1{,}789$ $\frac{bx}{\varrho^2} = 0{,}00881$, wodurch die Beobachtungen vollkommen wiedergegeben werden. Eine directe Beobachtung von a', die bei Einschaltung eines sehr kurzen und dicken Platindrathes in den Schliefsungsbogen erhalten wurde, hatte für a' den Werth 1,78 ergeben.

Die Gleichung (2) in §. 456 zur Berechnung des Verzö- 458
gerungswerthes x_i eines Metalles ist nun mit den constanten Zahlenwerthen anzugeben. Der in den Schliefsungsbogen eingeschaltete Platindrath hatte rad. $= 0''',04098$, daher ist $\log. bx = 5{,}17018$ und

$$\log. x_i = \log.\left((1{,}789 - \theta_{(i)})\varrho_i^2\right) - \left(\log. \theta_{(i)}\lambda_i + 5{,}17018\right) \ldots (3)$$

$\theta_{(i)}$ bedeutet die Erwärmung des Thermometers für Einheit

Digitized by Google

[458] der Ladung, wenn ein Drath des untersuchten Metalles von Länge $\lambda_{,}$ Radius $\varrho_{,}$ in den Schliefsungsbogen eingeschaltet wird. Im Thermometer befindet sich dabei stets derselbe Platindrath 59,25 Lin. lang, rad. $= 0{,}04098$.

459 Das elektrische *Erwärmungsvermögen* wird durch zwei Beobachtungsreihen bestimmt, von welchen die zur Ermittelung der Verzögerungskraft angestellte die eine ist. Es sei, um ein Beispiel zu wählen, die Verzögerungskraft des Bleies bestimmt worden durch eine Beobachtungsreihe, in welcher das Thermometer den angegebenen Platindrath, der allgemeine Auslader einen Bleidrath enthielt. Der Werth $\theta_{(,)}$ ist für Blei also bekannt. Man vertausche nun die Dräthe, so dafs der Bleidrath sich im Thermometer, der Platindrath im Auslader befindet, und suche in einer neuen Versuchsreihe den Werth $\theta_{,}$ womit wir die Thermometeränderung bezeichnen, die der Bleidrath unmittelbar verursacht. Aus diesen beiden Werthen, den Dimensionen der Dräthe und den Constanten des Thermometers berechnet man die Erwärmungen der Dräthe selbst. Es sei die Erwärmung des Platins T, die des Bleies $T_{,}$. Da bei beiden Versuchsreihen der Schliefsungsbogen unverändert geblieben ist, so hat man (§. 456.) $T = \frac{a y}{r^4}$ und $T_{,} = \frac{a y_{,}}{r_{,}^4}$ wo r den Radius des Platindrathes, $r_{,}$ den des Bleidrathes bezeichnet. Das Erwärmungsvermögen des Bleies ist daher $y_{,} = T_{,} r_{,}^4$ dividirt durch $T r^4$.

460 Um aus den beobachteten Thermometeränderungen $\theta_{,}$ und θ die entsprechenden Erwärmungen $T_{,}$ und T zu berechnen, bestimmte ich die Constanten der Reductionsformel (§. 417.) $T = A\left(\frac{B}{X} + 1\right)\theta$ nach den Dimensionen des Thermometers: log. $A = 7{,}90447$ log. $B = 0{,}22126$. Für die Berechnung des Erwärmungsvermögens läfst sich die Formel vereinfachen. Die Constante A fällt fort, da sie im Zähler und Nenner von $y_{,}$ steht; für X müfste $g\,C\,l\,r^2$ (spec. Gewicht, Wärmecapacität, Länge und Radius des Drathes) gesetzt werden, es ist aber bequemer log. B — log. $g\,C$ = log. D zu setzen und zu berechnen. Die hier anzuwendende Reductionsformel ist demnach

$$T = \left(\frac{D}{X} + 1\right)\theta \qquad X = l r^2$$

Digitized by Google

Für log. D giebt die folgende Tafel die Werthe, wel- [460]
chen die für andere Thermometer nützlichen Werthe von log. gC vorgesetzt sind.

Produkte der Wärmecapacität C in das specifische Gewicht g.

	log. Cg	log. D
Blei	9,52339	0,69787
Eisen	93069	29057
Gold	76113	46013
Kupfer	92559	29567
Messing	98204	23922
Nickel	95130	26996
Platin	81936	40190
Silber	76581	45545
Zinn	57369	64757

Man hat für das Erwärmungsvermögen eines Metalles den 461
Ausdruck

$$y_{,} = \frac{T_{,} r_{,}^{4}}{T r^{4}} \quad \ldots \ (4)$$

wo Tr^4 sich auf einen und denselben Platindrath bezieht. Hat dieser im Thermometer die Anzeige $\theta_{(,)}$ gegeben, so berechnet man seine Erwärmung nach dem Ausdrucke

$$\log. Tr^4 = 5{,}87121 + \log. \theta_{(,)}$$

und hat für den andern Drath, der im Thermometer die Anzeige $\theta_{,}$ gegeben hat

$$\log. T_{,} r_{,}^{4} = \log. \left(\frac{D}{X} + 1\right) + \log. \theta_{,} r_{,}^{4}$$

worin $X = lr^2$ und für log. D die Werthe aus der Tafel §. 460 entnommen werden.

Die zu den folgenden Versuchen gebrauchten Dräthe, an- 462
geblich durch dasselbe Loch des Zieheisens gezogen, waren dennoch nicht gleich dick. Es fand sich hierdurch die von Andern gemachte Bemerkung bestätigt, dafs nur wenige Metalldräthe (wie Gold) ohne Kraftanwendung durch das Loch gezogen werden können, dem sie ihre Form verdanken. Die Messungen der Dicken waren auf die früher beschriebene Weise (§. 407.) unter dem Mikroskope angestellt worden.

Digitized by Google

[462] Halbmesser r der Dräthe.

	log. r
Gold	8,59476
Cadmium	60364
Silber	60599
Platin	61260
Palladium	61821
Zinn	62011
Blei	62087
Eisen	62237
Kupfer	62275
Nickel	62325
Messing	63009

463 Durch die folgenden zwei Versuchsreihen wurde das Erwärmungsvermögen und die Verzögerungskraft des Bleies bestimmt. Die Werthe sind voraussichtlich von der Temperatur, bei welcher die Versuche angestellt sind, abhängig, und gelten daher für die Temperatur des Zimmers, die von 15° C. wenig abwich. In jeder Versuchsreihe sind Metall und Länge des Drathes im Thermometer und dann des Drathes im Auslader (letztere in Klammern) angegeben.

Platin 59‴,25 (Blei 38,5)
$\theta_{(0)} = 1{,}20$

s	3		4		5	
q	beob.	Θ ber.	beob.	Θ ber.	beob.	Θ ber.
3	4,0	3,6				
4	6,6	6,4	4,9	4,8		
5	10,2	10,0	7,5	7,5	6,0	6,0
6	13,5	14,4	10,9	10,8	9,3	8,6
7			13,8	14,7	11,8	11,8
8					14,0	15,3

Blei 38,5 (Platin 59,25)
$\theta_{,} = 1{,}12$

3	3,8	3,4				
4	6,0	6,0	4,4	4,5		
5	8,8	9,3	7,0	7,0	5,4	5,6
6	12,2	13,4	10,6	10,1	8,3	8,1
7			12,9	13,7	10,8	11,0
8					14,5	14,3

Es ist: $\theta_{(0)} = 1{,}2 \quad \lambda_{,} = 38{,}5 \quad \log. \varrho_{,} = 8{,}62087$
daher nach §. 458 die Verzögerungskraft des Bleies $x_{,} = 1{,}503$
Ferner: $\theta_{(0)} = 1{,}2 \quad \theta_{,} = 1{,}12 \quad \log. r_{,} = 8{,}62087 \quad l = 38{,}5$
$\log. D = 0{,}69787$
daher nach §. 461 Erwärmungsvermögen des Bleies $y_{,} = 2{,}876$.

Digitized by Google

Auf gleiche Weise wurden x und y für andere Metalle 464
bestimmt. Ich theile nicht die einzelnen Beobachtungsreihen mit, sondern nur die zur Rechnung nöthigen Gröfsen, da ich die Reinheit der Metalle nicht geprüft habe, die Resultate daher nicht als vollgültig für reine Metalle angesehen werden können. Wo die Werthe der Wärmecapacität und des specifischen Gewichts eines Metalles nicht bekannt waren, konnte das Erwärmungsvermögen nicht berechnet werden.

Tafel über das Erwärmungsvermögen und die Verzögerungskraft der Metalle.

	Länge.	$\theta_{(\prime)}$	$\theta_{,}$	Verzögerungskraft x	Erwärmungsvermögen y
Silber	110‴,08	1,62	0,34	0,1043	0,1267
Kupfer	141 ,6	1,51	0,46	0,1552	0,1133
Gold	125 ,0	1,48	0,61	0,1746	0,2112
Cadmium	84 ,9	1,36		0,4047	
Messing	99 ,8	1,23	1,01	0,5602	0,3861
Palladium	65 ,3	1,21		0,8535	
Eisen	68 ,0	1,19	1,17	0,8789	0,7080
Platin				1,	1,
Zinn	48 ,0	1,25	0,89	1,053	1,570
Nickel	61 ,8	1,11	1,28	1,180	0,8727
Blei	38 ,5	1,20	1,12	1,503	2,876
Neusilber	58 ,4	0,92		1,752	

Die Bedeutung der gewonnenen Zahlenwerthe erhellt aus der Formel $T = \frac{ay}{r^4} \cdot \frac{1}{1+\frac{bx\lambda}{\varrho^2}}$, in welcher wir früher $1+\frac{bx\lambda}{\varrho^2}$ als Maafs der Entladungszeit der Batterie angenommen haben. Die Reihe der x giebt hiernach das Verhältnifs an, in welchem Dräthe von gleichen Dimensionen und verschiedenem Stoffe, einzeln zu einem Schliefsungsbogen hinzugesetzt, die Entladung der Batterie verzögern; die Reihe der y das Verhältnifs der Temperaturerhöhungen, welche verschiedenartige Dräthe derselben Dicke erfahren, wenn sie, Ende an Ende befestigt, zur Entladung einer Batterie benutzt werden.

Digitized by Google

Abhängigkeit des Erwärmungsvermögens von der Verzögerungskraft.

465 Wir erhalten das Gesetz dieser Abhängigkeit durch die Bemerkung §. 454, nach welcher ein einfaches Verhältnifs zwischen dem Verzögerungswerthe eines Drathes und der in ihm erregten Wärmemenge stattfindet. Das Erwärmungsvermögen y giebt die Temperaturerhöhung der Metalle an, die in Wärmemenge verwandelt wird durch Multiplication mit dem Produkte der Wärmecapacität in das specifische Gewicht des bezüglichen Metalles. Zur Erleichterung einer Vergleichung soll die im Platin frei gewordene Wärmemenge 1 gesetzt werden, wozu das y jedes Metalles, nachdem es mit Cg multiplicirt worden, durch Wärmecapacität und specifisches Gewicht des Platins zu dividiren ist. Zu dieser Rechnung dienen die in §. 460 gegebenen Logarithmen.

	x	yCg
Silber	0,1043	0,1120
Kupfer	0,1552	0,1447
Gold	0,1746	0,1847
Messing	0,5602	0,5616
Eisen	0,8789	0,9148
Platin	1,	1,
Zinn	1,053	0,8917
Nickel	1,180	1,182
Blei	1,503	1,455

Die Uebereinstimmung der beiden Reihen ist so grofs, als sie bei diesen Versuchen und den Rechnungen mit nur annähernd richtigen Zahlenwerthen verlangt werden darf. Eine Abweichung der Werthe von einander mufs dem Produkte yCg zugeschrieben werden, da dieses unter der Voraussetzung berechnet ist, dafs die angewandten Metalle rein waren, und für sie Wärmecapacität und specifisches Gewicht aus den Lehrbüchern entnommen ist. So läfst sich vermuthen, dafs das angewandte Zinn nicht rein gewesen und daher auch der Werth x nicht für reines Zinn gelten werde. — Es ist also der Satz bewiesen $y = \frac{x}{Cg}$: Das relative elektrische Erwärmungsvermö-

Digitized by Google

gen eines Metalles wird gefunden, wenn man die elektrische [465]
Verzögerungskraft durch die Wärmecapacität und das specifische Gewicht desselben dividirt.

Grundgesetz der Erwärmung im einfachen Schliefsungsbogen.

Nach dem vorigen Paragraphe kann in der Formel für 466
die Erwärmung (§. 456) die mit dem Metalle veränderliche Gröfse y eliminirt werden. Zugleich erfährt die Formel eine grofse Vereinfachung, wenn wir statt der Temperaturerhöhung T die derselben entsprechende Wärmemenge W setzen. Man hat dazu $W = T g C l r^2 \pi$ mit der frühern Bedeutung der Zeichen, und die Formel wird

$$W = \frac{a x' l}{r^2}\left(\frac{1}{1+\frac{b x \lambda}{\varrho^2}}\right)$$

wo x' l r Verzögerungskraft, Länge und Radius des auf die Wärme untersuchten Drathes bedeuten, x λ ϱ in gleicher Bedeutung für den zum Schliefsungsbogen hinzugesetzten Drath gelten, a und b durch den Versuch zu bestimmende Constanten sind. Es ist früher der Ausdruck $\frac{x\lambda}{\varrho^2} = V$ gesetzt und Verzögerungswerth eines Drathes genannt worden; es wird also $\frac{x' l}{r^2} = V'$ den Verzögerungswerth eines andern Drathes bezeichnen, und die Grundformel für die Erwärmung im Schliefsungsdrathe, in welche wir wieder die Abhängigkeit von der Elektricitätsmenge q und Flaschenzahl s der Batterie aufnehmen, die folgende einfache Gestalt erhalten

$$W = \frac{a V'}{1+bV} \cdot \frac{q^2}{s} \quad \ldots \quad (\mathrm{I})$$

Daraus folgt das merkwürdige Gesetz: ***Die Wärmemengen, die in irgend welchen Dräthen durch dieselbe elektrische Entladung frei gemacht werden, sind den Verzögerungswerthen dieser Dräthe proportional.***

Dies Gesetz bringt zwei durchaus verschiedene Versuche 467
über die Erwärmung in eine einfache Beziehung zu einander,

Digitized by Google

[467] so dafs sie aus einander abgeleitet werden können. Der Verzögerungswerth eines Drathes braucht nämlich nicht durch Metall und Dimensionen desselben gegeben zu sein, sondern kann direct durch Beobachtung der Erwärmung eines constanten Drathes im Schliefsungsbogen bestimmt werden. Nehmen wir die hypothetische Bedeutung dieser Bestimmung (als Zeitbestimmung) auf, so ist jene merkwürdige Beziehung auszusprechen: In irgend welchen, Ende an Ende mit einander verbundenen, Metalldräthen werden durch die Entladung einer Batterie Wärmemengen frei, die den Verzögerungen proportional sind, welche diese Dräthe einzeln, durch Zusetzung zu einem Schliefsungsbogen, der Entladungszeit der Batterie verursachen.

468 Die Formel (I) umfafst alle Versuche, die bisher über die Erwärmung eines continuirlichen Drathes im einfachen Schliefsungsbogen angestellt worden sind. Um aus der erregten Wärmemenge die Temperaturerhöhung T zu erhalten, ist die Gleichung durch $g\,C\,l r^2 \pi$ zu dividiren:

$$T = \frac{a' x'}{r^4 C g}\left(\frac{1}{1+bV}\right)\frac{q^2}{s}$$

wo $a' = \frac{a}{\pi} = \frac{a}{3{,}1416}$. Gewöhnlich ist bei Anwendung dieser Formel a nicht bekannt und a' wird aus den Versuchen selbst bestimmt.

469 Zum nähern Verständnifs der Grundformel

$$W = \frac{a V'}{1+bV} \cdot \frac{q^2}{s}$$

will ich sie auf einige specielle Fälle anwenden. Es sei eine beliebige Anzahl von Dräthen verschiedener Dimensionen und von verschiedenem Metalle gegeben; für jeden Drath sei der Werth $V = \frac{xl}{r^2}$ nach Länge, Halbmesser und dem x der Tafel §. 464 berechnet. Erster Fall. Man verbinde alle Drähte Ende an Ende hintereinander und entlade eine Batterie durch diese Metallkette. In jedem Drathe wird eine andere Wärmemenge frei. Da V und $\frac{q^2}{s}$ hier constant sind, so hat man

$$W = a V'$$

Digitized by Google

Hat man die Wärmemenge an einem Drathe gemessen, [469]
so ist sie in allen Dräthen bekannt.

Zweiter Fall. Es sei ein Drath constant im Thermometer eingeschlossen; jeder der übrigen Dräthe werde einzeln an dem Ansatze des Thermometers befestigt, und eine zu gleichem Grade geladene Batterie in aufeinander folgenden Versuchen durch Drath und Thermometer entladen. In dem Drathe des Thermometers wird je nach dem zugefügten Drathe eine verschiedene Wärmemenge frei. Es ist V' und $\frac{Q^2}{s}$ constant, daher

$$W = \frac{a}{1 + bV}$$

Durch zwei Beobachtungen wird a und b bestimmt und die Wärmemenge jedes folgenden Versuches ist bekannt.

Dritter Fall. Es werde jeder der einzelnen Dräthe 470
in das Thermometer eingeschlossen und die Batterie durch ihn entladen. $\frac{Q^2}{s}$ ist constant, $V' = V$

$$W = \frac{a}{\frac{1}{V} + b}$$

Zwei Messungen von W gaben die Constanten a und b, mit welchen die übrigen Versuche berechnet werden können. Der Verzögerungswerth V wächst mit $\frac{l}{r^2}$; es ist also in einem continuirlichen Drathe, der eine Batterie schliefst, eine desto gröfsere Wärmemenge frei, je länger und dünner er ist, und diese Menge geht für eine bestimmte Elektricitätsmenge und Batterie dem Gränzwerthe $\frac{a}{b}$ zu.

In allen drei angeführten Fällen ist die erregte Wärme- 471
menge von einer Veränderlichen, dem Verzögerungswerthe eines Drahtes, abhängig und wird mit diesem constant. $V = \frac{x\,l}{r^2}$ wird aber constant sein, wenn wir alle angewandten Dräthe von gleicher Dicke und von Längen nehmen, die den bezüglichen Werthen von x umgekehrt proportional sind. Die Werthe von $\frac{1}{x}$ sind direct proportional den hypothetischen Werthen des

Digitized by Google

[471] Leitungsvermögens der Metalle (§. 404) und man hat daher die merkwürdige Beziehung: die Werthe des *Leitungsvermögens* der Metalle geben Drathlängen *gleicher Wärme* an; solche Längen nämlich, in welchen, wenn man sie zur Entladung einer Batterie mit bestimmter Ladung benutzt, dieselbe Wärmemenge erregt wird. In der folgenden Tafel sind diese Längen aus §. 464 berechnet, $l = \frac{15{,}52}{x}$, indem zugleich l für Kupfer $= 100$ gesetzt ist.

472 Drathlängen gleicher Wärme.

Silber	148,74
Kupfer	100
Gold	88,87
Cadmium	38,35
Messing	27,70
Palladium	18,18
Eisen	17,66
Platin	15,52
Nickel	13,15
Blei	10,32
Neusilber	8,86

Entladet man also eine Batterie durch einen Silberdrath von 148,7 Zoll Länge, oder durch einen gleich dicken Golddrath von 88,9, oder einen Messingdrath von 27,7 oder einen Neusilberdrath von 8,9 Zoll Länge, oder u. s. w.; so werden diese Drähte durch die Entladungen sehr verschiedene Temperaturerhöhungen erfahren. Denkt man sich aber die Dräthe gleich nach der Entladung mit Eis umgeben, so werden sie alle, wenn sie zu ihrer anfänglichen Temperatur (15° C.) abgekühlt sind, genau dieselbe Menge Eis geschmelzt haben.

Wärmeerregung in einem verzweigten Schliefsungsbogen[1]).

473 Ein verzweigter Schliefsungsbogen wird gebildet, wenn man zwei beliebig gelegene Punkte eines ganz metallischen

[1]) Poggend. Ann.* 63. 481 ff.

Digitized by Google

Schliefsungsbogens durch einen Drath oder durch mehrere [473]
Dräthe mit einander verbindet. Jede solche Verbindung der beiden Punkte, also auch das zwischen ihnen liegende Stück des anfänglichen Drathes, nennt man *Zweig,* die beiden übrigen Stücke des Schliefsungsbogens *Stamm* desselben. Entladet man eine Batterie durch einen verzweigten Bogen, so wird der Stamm sowol, als auch jeder Zweig erwärmt; die Entladung findet also in jedem der nebeneinander liegenden Dräthe statt, welche die Zweige bilden. Bei der Untersuchung der Gesetze dieser Erwärmung werden die Fälle ausgeschlossen, die durch die frühere Untersuchung im einfachen Schliefsungsbogen erledigt worden sind. So soll der Stamm des Schliefsungsbogens und die Beschaffenheit der Stelle, deren Erwärmung untersucht wird, unverändert bleiben; der Einfluſs einer Aenderung dieser Stücke auf die Erwärmung kann nach der Grundformel bestimmt werden. Es wird daher die Erwärmung im Stamme und in den Zweigen eines Bogens zu untersuchen sein, dessen Zweige allein veränderlich sind.

Erwärmung im Stamme. Es sei ein Thermometer 474
mit unverändertem Drathe in einen einfachen Schliefsungsbogen eingeschaltet, ferner eine Anzahl einfacher oder zusammengesetzter Dräthe gegeben, deren Verzögerungswerthe $V_{,}$ $V_{,,}$ .... V_{n} bekannt sind. Man durschneide den Schliefsungsbogen an einer Stelle und verbinde die getrennten Stücke durch die gegebenen Dräthe, so daſs diese Zweige des Bogens bilden; es soll die durch eine Entladung im Drathe des Thermometers erregte Wärme berechnet werden. Ich werde zuerst eine Formel für diesen Fall aufzustellen suchen und sie dann durch Versuche prüfen. — Wird jeder der gegebenen Dräthe einzeln zur Verbindung der getrennten Stücke des Schliefsungsbogens benutzt, so ist die Erwärmung des Drathes im Thermometer bekannt. Man hat in der Formel

$$W = \frac{a V}{1 + b V} \frac{q^2}{s} \quad . \quad . \quad . \quad (I)$$

die Constanten a und b zu ermitteln und an die Stelle von V die einzelnen Werthe $V_{,}$ $V_{,,}$ .... V_{n} zu setzen. Durch diese Substituirung ist hypothetisch die Zeit bV bestimmt worden, in welcher die Elektricitätsmenge q (der Einfachheit wegen

Digitized by Google

[474] sei sie in Einer Flasche angehäuft angenommen) durch jeden der eingeschalteten Dräthe entladen wird. Die Formel wird daher nach Anbringung der Zweige gelten, wenn wir für bV die Zeit setzen können, in welcher die genannte Elektricitätsmenge durch alle im Schliefsungsbogen gleichzeitig befindlichen Dräthe entladen wird. Es sei diese Zeit $= z$. Der erste Zweig würde nach der Annahme die Menge q in der Zeit bV_1 entladen haben, er kann also in der Zeit z nur die Menge $\frac{qz}{bV_1}$ entladen, ebenso der zweite Zweig die Menge $\frac{qz}{bV_{11}}$ und der $n$te Zweig die Menge $\frac{qz}{bV_n}$. Da durch diese Entladungen die ganze Elektricitätsmenge in der Batterie erschöpft wird, so hat man

$$\frac{qz}{b}\left(\frac{1}{V_1}+\frac{1}{V_{11}}+\cdots\cdot\frac{1}{V_n}\right)=q$$

oder, wenn wir die Summe in den Klammern mit $\left[\frac{1}{V}\right]$ bezeichnen

$$\frac{z}{b}\left[\frac{1}{V}\right]=1 \text{ und } z=\frac{b}{\left[\frac{1}{V}\right]}$$

Hiermit ist zugleich die durch jeden Zweig entladene Elektricitätsmenge bestimmt; da diese allgemein $\frac{qz}{bV_n}=q_n$, so findet man

$$q_n=\frac{q}{V_n\left[\frac{1}{V}\right]}$$

Betrachtet man zwei Zweige, deren Verzögerungswerthe V_n und V_r sind, und bezeichnet man die durch sie hindurchgehenden Elektricitätsmengen beziehungsweise mit q_n und q_r, so hat man

$$q_n : q_r = \frac{q}{V_n\left[\frac{1}{V}\right]} : \frac{q}{V_r\left[\frac{1}{V}\right]} = V_r : V_n$$

Die Elektricitätsmengen, die durch zwei Zweige hindurchgehen, verhalten sich also umgekehrt, wie die Verzögerungswerthe der Zweige. Dies gilt ersichtlich auch für eine beliebige Anzahl von Zweigen.

Digitized by Google

Durch Einsetzung des Werthes von z statt bV in die [474]
Gleichung I erhält man für die Wärmemenge im Stamme eines verzweigten Bogens:

$$W = \frac{aV'}{1 + \frac{b}{\left[\frac{1}{V}\right]}} \frac{q^2}{s} \quad \ldots \ldots \text{(II)}$$

wo $\left[\frac{1}{V}\right]$ die Summe der umgekehrten Werthe der Verzögerungswerthe aller vorhandenen Zweige bedeutet. Diese Formel habe ich durch die folgenden Versuche geprüft.

Im Schliefsungsbogen, zwischen dem allgemeinen Ausla- 475
der und dem Stativ des Kupferstreifens (§. 405) wurde ein elektrisches Thermometer eingeschaltet durch zwei 10 Zoll lange, $\frac{5}{8}$ Linie dicke Kupferdräthe. Im Thermometer befand sich ein Platindrath von 60 Linien Länge, 0,03879 Linie Halbmesser. Der Stamm des Schliefsungsbogens wurde also einerseits durch den Kupferstreifen, die Verbindungsdräthe, das Thermometer und den einen Arm des Ausladers, andererseits durch den zweiten Arm des Ausladers, den Verbindungsdrath und den Entladungsapparat gebildet. Die freien Enden der Arme des allgemeinen Ausladers bildeten die Punkte, von welchen die Zweige ausgingen. Dazu wurde an jedes Ende, winkelrecht gegen den Arm, ein messingener Querbalken geschraubt, 5 Zoll 10 Lin. lang, 3 Lin. dick. Jedes Ende der Querbalken war durchbohrt, und durch dasselbe ein $\frac{3}{4}$ Lin. dicker Messingstab gesteckt und festgeklemmt, der in einer Kegelklemme endigte. Die Fig. 100 zeigt die beiden Ansätze, die bei a und b an die Arme des Ausladers angeschraubt werden. Zwei gegeneinander gerichtete Klemmen wurden durch einen Drath verbunden, so dafs also jeder Zweig aus diesem Drathe und den betreffenden Stücken der beiden Ansätze zusammengesetzt war. Der Verzögerungswerth eines Zweiges konnte daher nicht durch Abmessungen gefunden, sondern mufste durch Wärmeversuche nach der Formel I berechnet werden, die hierbei eine einfachere Gestalt erhält. Der Drath im Thermometer bleibt unverändert; es kann daher statt W die Erwärmung des Thermometers gesetzt und V'

Digitized by Google

[475] in den Werth a aufgenommen werden. Ferner soll die Formel für Einheit der Ladung gelten, sie ist daher

$$\theta = \frac{a}{1 + bV}$$

woraus der Verzögerungswerth jedes Zweiges zu berechnen ist.

476 Zur Bestimmung der Constanten a und b wurden die Ansätze vom Auslader entfernt, und seine Arme durch verschiedene Längen eines Platindrathes von 0,0388 Lin. Radius mit einander verbunden. Hiermit wird in der Formel $V = \frac{l}{(0{,}0388)^2}$. Zwei einzelne Beobachtungen der Erwärmungen des Thermometers bei verschiedener Einschaltung würden die Constanten der Formel liefern. Ich habe zur Sicherung der Werthe vier Beobachtungsreihen angestellt und aus jeder Reihe den Werth der Erwärmung für Einheit der Ladung genommen. Die Zahl der Beobachtungen jeder Reihe wurde beschränkt, dafür aber jede Reihe unter möglichst gleichen Umständen bestimmt. Die Flaschenzahl vier blieb ungeändert, die Elektricitätsmengen wurden 8 9 10 genommen. Die 3 mit diesen Mengen gewonnenen Erwärmungen wurden nach einer längern Pause aufs Neue beobachtet. Ich theile diese, hier und in der Folge, mit grofser Sorgfalt angestellten Messungen mit, um die Constanz der Beobachtungen am elektrischen Thermometer zu zeigen. Aus jeder Beobachtung leitete ich den Werth von c aus der Formel $\Theta = c\left(\frac{q}{2}\right)^2$ ab und nahm den Mittelwerth der 6 Bestimmungen einer Reihe für θ, die Erwärmung für Einheit der Ladung, die unter jeder Reihe mit der Bezeichnung der Reihe angegeben ist. Dies so abgeleitete θ wollen wir, zum Unterschiede von einem theoretisch bestimmten θ, hier den beobachteten Werth nennen. Die Kugeln der Maafsflasche waren in $\frac{1}{2}$ Lin. Entfernung gestellt, zwei Entladungen der Flasche wurden zur Einheit der Elektricitätsmenge genommen.

Digitized by Google

Reihe 1. Einschaltung $\lambda = 33$ Linien. 477

Elektricitäts-menge q	Erwärmung Θ beobachtet		berechnet
8	16,4	16,5	16,0
9	20,3	20,4	20,2
10	24,4	24,6	25,0
			$\theta_1 = 1{,}00$
Reihe 2.		$\lambda = 100{,}8$	
8	11,7	11,8	11,5
9	14,6	14,2	14,6
10	17,5	18,0	18,0
Reihe 3.		$\lambda = 194{,}6$	
8	8,6	8,6	8,3
9	10,5	10,6	10,5
10	12,6	13,2	13,0
Reihe 4.		$\lambda = 290{,}8$	
8	6,8	6,6	6,5
9	8,2	8,2	8,2
10	9,8	10,2	10,1
			$\theta_4 = 0{,}405$

Aus den beobachteten Erwärmungen $\theta_1 = 1{,}00$ $\theta_4 = 0{,}405$
und den Längen $\lambda_1 = 33$ $\lambda_4 = 290{,}8$
erhält man die Constanten der Gleichung

$$\theta = \frac{a}{1 + \frac{b\lambda}{(0{,}0388)^2}}$$

nämlich:

$$\log. a = 0{,}09048 \qquad a = 1{,}232$$

$$\log. \frac{b}{(0{,}0388)^2} = 7{,}84628$$

Diese Werthe geben, wie aus den berechneten Erwärmungen ersehen wird, die Beobachtungen in vollkommener Uebereinstimmung; sie werden allen folgenden Bestimmungen zu Grunde gelegt.

Die beschriebenen Ansätze wurden an die Arme des 478
Ausladers geschraubt, und ihre Enden, die ungefähr 8 Zoll von einander standen, zuweilen auch die Mitten, durch einfache oder zusammengesetzte Dräthe mit einander verbunden. In einen von mehreren gleichzeitig angewandten Zweigen

Digitized by Google

[478] ging stets ein 60 Lin. langer Platindrath mit den Verbindungsstücken ein, die im Thermometer angewandt werden. Der Zweck hiervon war, das Thermometer bei einer spätern Untersuchung in einem Zweige, ohne Aenderung desselben, anbringen zu können. Jeder Zweig bestand aus einem continuirlichen Drathe, mehreren Klemmen und den betreffenden Stücken der Ansätze. Die Länge jenes Drathes ist daher nicht angegeben, und die Angabe seines Metalles und Radius ist nur als eine beiläufige zu betrachten. Von Platin wurde nur eine Drathsorte (Rad. 0,0388) gebraucht. Der Verzögerungswerth eines Zweiges kann aus einer Beobachtungsreihe nach der Formel

$$\theta = \frac{1{,}232}{1 + bV}$$

bestimmt werden.

Die weiter unten angewandte Rechnung zur Prüfung der Formel II (§. 474) benutzt aber nicht V, sondern $\frac{1}{v}$ wo $v = bV$. Der Werth

$$\frac{1}{v} = \frac{\theta}{1{,}232 - \theta}$$

soll unter die Reihe, aus der er berechnet ist, gestellt und mit der Ziffer der Reihe bezeichnet werden. Der Zweig selbst wird nach der Reihe bezeichnet, durch welche $\frac{1}{v}$ für ihn bestimmt worden ist.

Reihe 5. Einfache Schliefsung (Platin).

Elektricitätsmenge q	Erwärmung beobachtet		berechnet
8	12,8	13,2	13,0
9	16,4	16,5	16,4
10	20,0	20,3	20,5

$\theta_5 = 0{,}81 \quad \frac{1}{v_5} = 1{,}919$

Reihe 6. Einfache Schliefsung (Platin).

8	15,0	15,3	15,0
9	18,3	19,0	19,0
10	23,4	23,7	23,5

$\theta_6 = 0{,}94 \quad \frac{1}{v_6} = 3{,}219$

Digitized by Google

Mit den erhaltenen Werthen $\frac{1}{v_5}$ und $\frac{1}{v_6}$ soll die Erwär- 479
mung des Thermometers bei Anbringung der Zweige 5 und 6 berechnet werden. Die Formel II (§. 474) giebt den Ausdruck

$$\theta = \frac{a}{1 + \frac{b}{\left[\frac{1}{V}\right]}}$$

wo θ die Erwärmung für Einheit der Ladung bedeutet. Setzt man wieder $v = bV$, so erhält man, da $\left[\frac{1}{V}\right] = b\left[\frac{1}{v}\right]$, die zur Berechnung bequeme Formel

$$\theta = 1{,}232 \frac{\left[\frac{1}{v}\right]}{\left[\frac{1}{v}\right] + 1}$$

Im vorliegenden Falle ist $\left[\frac{1}{v}\right] = \frac{1}{v_5} + \frac{1}{v_6} = 5{,}138$ und damit $\theta = 1{,}031$ als Erwärmung bei Schliefsung durch die Zweige 5 und 6. Hiermit stimmt die Beobachtung vollkommen überein:

Reihe 7. Schliefsung durch die Zweige 5 und 6.

Elektricitäts-menge	Erwärmung beobachtet		berechnet
8	16,8	16,1	16,2
9	20,8	21,3	20,8
10	25,5	26,0	25,6

$\theta_7 = 1{,}03$

In den folgenden Beobachtungen findet man eine ebenso 480
befriedigende Uebereinstimmung der Rechnung mit der Beobachtung.

Reihe 8. Einfache Schliefsung (Platin).

8	6,6	6,4	6,2
9	7,9	7,9	7,8
10	8,8	9,2	9,6

$\theta_8 = 0{,}386 \frac{1}{v_8} = 0{,}4563$

Digitized by Google

[480] Reihe 9. Schliefsung durch die Zweige 5 und 8.

Elektricitäts-menge	Erwärmung beobachtet		berechnet
8	14,5	14,2	14,0
9	17,0	17,7	17,7
10	21,6	21,7	21,8

$\theta_9 = 0{,}874$

Mit dem Werthe $\left[\frac{1}{v}\right] = 2{,}372$ erhält man $\theta = 0{,}8667$

Reihe 10. Einfache Schliefsung (Platin).

8	11,3	11,1	10,9
9	13,5	14,0	13,8
10	16,4	17,0	17,0

$\theta_{10} = 0{,}683 \quad \frac{1}{v_{10}} = 1{,}244$

Reihe 11. Schliefsung durch die Zweige 5 und 10.

8	15,3	15,2	15,1
9	19,3	19,3	19,1
10	23,1	23,4	23,6

$\theta_{11} = 0{,}946$

Es ist $\left[\frac{1}{v}\right] = 3{,}163$ und damit $\theta = 0{,}9358$.

481 In der 12ten Reihe wurde eine Drathverbindung zur Schliefsung gebraucht, die dem Zweige 5 ganz gleich war.

Reihe 12. Einfache Schliefsung (Platin).

Elektricitäts-menge	Erwärmung beobachtet		berechnet
8	13,2	13,1	13,0
9	16,0	16,2	16,4
10	19,9	20,1	20,5

$\theta_{12} = 0{,}81 \quad \frac{1}{v_{12}} = 1{,}919$

Reihe 13. Schliefsung durch die gleichen Zweige 5 und 12.

8	15,7	15,7	15,7
9	19,8	19,7	19,8
10	24,7	24,2	24,5

$\theta_{13} = 0{,}979$

$\left[\frac{1}{v}\right] = 3{,}838$ giebt $\theta = 0{,}977$

Reihe 14. Einfache Schliefsung (Platin)

8	8,5	8,3	8,3
9	10,3	10,4	10,5
10	12,7	12,7	12,9

$\theta_{14} = 0{,}519 \quad \frac{1}{v_{14}} = 0{,}7279$

Digitized by Google

Reihe 15. Schliefsung durch die Zweige 8 und 14. [481]

Elektricitäts-menge	Erwärmung beobachtet		berechnet
8	10,5	10,8	10,7
9	13,8	13,6	13,5
10	16,5	16,5	16,9

$\theta_{15} = 0{,}667$

$\left[\frac{1}{v}\right]$ 1,184 giebt $\theta = 0{,}6677$

Reihe 16. Einfache Schliefsung (Eisen rad. 0,02995).

8	7,4	7,4	7,2
9	9,2	9,4	9,1
10	10,5	10,8	11,2

$\theta_{16} = 0{,}449 \frac{1}{v_{16}} = 0{,}5734$

Reihe 17. Schliefsung durch die Zweige 8, 14 und 16.

8	12,7	12,5	12,5
9	15,7	16,0	15,8
10	19,6	19,3	19,8

$\theta_{17} = 0{,}784.$

Hier ist $\left[\frac{1}{v}\right]$ die Summe von 3 Werthen $= 1{,}758$ und giebt $\theta = 0{,}7851$

Reihe 18. Einfache Schliefsung (Neusilber rad. 0,0424).

8	8,8	9,0	8,7
9	11,5	11,3	11,0
10	13,0	13,0	13,6

$\theta_{18} = 0{,}546 \frac{1}{v_{18}} = 0{,}7959$

Reihe 19. Schliefsung durch die Zweige 5 und 18.

8	14,7	14,4	14,4
9	17,8	18,6	18,2
10	22,7	22,2	22,5

$\theta_{19} = 0{,}901$

mit $\left[\frac{1}{v}\right] = 2{,}715$ erhält man $\theta = 0{,}9001$

Reihe 20. Einfache Schliefsung (Kupfer rad. 0,0167).

8	10,4	10,3	10,1
9	13,3	13,0	12,8
10	15,0	15,0	15,8

$\theta_{20} = 0{,}632 \frac{1}{v_{20}} = 1{,}053$

Digitized by Google

[481] Reihe 21. Schliefsung durch die Zweige 14 und 20.

Elektricitäts-menge	Erwärmung beobachtet		berechnet
8	13,2	13,2	12,8
9	16,4	16,6	16,2
10	19,2	19,5	20,0

$\theta_{21} = 0{,}80$

$\left[\frac{1}{v}\right] = 1{,}781$ giebt $\theta = 0{,}7887$

482 Zusammenstellung der berechneten und beobachteten Werthe der Erwärmung im Stamme des Schliefsungsbogens.

Reihe	Erwärmung berechnet	beobachtet	Differenz in Theilen des berechneten Werthes
7	1,03	1,03	0,0
9	0,867	0,874	+ 0,008
11	0,936	0,946	+ 0,010
13	0,977	0,979	+ 0,002
15	0,668	0,667	− 0,001
17	0,785	0,784	− 0,001
19	0,900	0,901	+ 0,001
21	0,789	0,800	+ 0,014

Die Formel II §. 474 hat sich also bei allen angestellten Versuchen vollständig bewährt. Die unbedeutenden gröfstentheils positiven Differenzen würden durch eine Aenderung des zu Grunde gelegten Werthes von a verringert werden können.

483 Erwärmung in einem Zweige des Schliefsungsbogens. Die Wärmemenge, die in einem continuirlichen Stücke des Stammes durch die Entladung erregt wird, hängt ab, nach der Formel II, von dem Verzögerungswerthe des untersuchten Stückes, von der Zeit, in der die Batterie entladen wird, und von der in der Batterie befindlichen und durch das Stück hindurchgegangenen Elektricitätsmenge. Geht man von einer Stelle des Stammes zu einer andern über, so ändert sich die Wärmemenge im Verhältnisse des veränderten Verzögerungswerthes, da offenbar die Zeit der Entladung ungeändert bleibt, und eine eben so grofse Elektricitätsmenge, wie früher, durch die untersuchte Stelle hindurchgeht. Dieſs ist aber nicht der Fall, wenn man zu einer Stelle eines Zweiges

Digitized by Google

übergeht, da jeder Zweig nur einen Theil der in der Batterie [483]
angehäuften Elektricitätsmenge aufnimmt. Wir haben gefunden (§. 474), dafs ein Zweig, dessen Verzögerungswerth V_n ist, von der Elektricitätsmenge q der Batterie nur $\frac{q}{V_n\left[\frac{1}{V}\right]}$ erhält, wo $\left[\frac{1}{V}\right]$ wie früher, die Summe der umgekehrten Werthe der Verzögerungswerthe aller Zweige bedeutet. Setzt man daher diesen Ausdruck an die Stelle von q in die Formel II, die für die Erwärmung im Stamme gilt, so erhält man den Ausdruck für die Wärmemenge an einer Stelle eines beliebigen Zweiges.

Es bezeichne w_n die Wärmemenge, die an einer Stelle 484
des Zweiges, dessen Verzögerungswerth V_n ist, erregt wird. Die erwähnte Substitution giebt

$$w_n = \frac{aV'}{1+\frac{b}{\left[\frac{1}{V}\right]}} \cdot \frac{q^2}{sV_n^2\left[\frac{1}{V}\right]^2}$$

oder:

$$w_n = \frac{aV'\frac{1}{V_n^2}}{\left[\frac{1}{V}\right]\left(\left[\frac{1}{V}\right]+b\right)} \cdot \frac{q^2}{s} \quad \ldots \quad \text{(III)}$$

V' bezeichnet den Verzögerungswerth der untersuchten Stelle. Hat man daher schon die Wärme W an einer gleichwerthigen Stelle des Stammes berechnet, so hat man einfacher aus Formel II und III

$$w_n = W\left(\frac{\frac{1}{V_n}}{\left[\frac{1}{V}\right]}\right)^2$$

Die Formel III wurde nun durch Versuche geprüft. 485
Wir haben sie so einzurichten, dafs sie die Erwärmung des Thermometers für Einheit der Ladung angiebt. Setzen wir ferner wieder $bV = v$, so kommt

$$\theta = \frac{1{,}232\frac{1}{v_n^2}}{\left[\frac{1}{v}\right]\left(\left[\frac{1}{v}\right]+1\right)}$$

Digitized by Google

[485] Bei den früheren Versuchen ist bemerkt worden (§. 478), dafs jedesmal in einen der gleichzeitig geschlossenen Zweige ein ähnlicher Platindrath, wie der im Thermometer, mit gleichen Verbindungsstücken einging. Das Thermometer wurde jetzt aus dem Stamme entfernt und an die Stelle jenes Platindrathes in dem Zweige angebracht, die Lücke im Stamme aber durch eine gleichwerthige Drathverbindung ausgefüllt. Stamm und Zweige behielten also dieselbe Zusammensetzung wie in den frühern Versuchen. Bei den folgenden Wärmeversuchen mufsten zuweilen stärkere Elektricitätsmengen, als früher, gebraucht werden, da die Erwärmung hier geringer ausfiel.

486 Reihe 22. Erwärmung im Zweige 14 bei der Schliefsung der Zweige 14, 8 und 16.

Elektricitäts-menge	Erwärmung beobachtet		berechnet
10	3,5	3,6	3,5
12	5,0	4,9	5,0
14	6,3	6,8	6,8

$\theta_{22} = 0{,}138$

Zur Berechnung nach der Formel hat man

$$\left[\frac{1}{v}\right] = \frac{1}{v_{14}} + \frac{1}{v_8} + \frac{1}{v_{16}} = 1{,}758 \quad \log.\left[\frac{1}{v}\right]\left(\left[\frac{1}{v}\right]+1\right) = 0{,}68561$$

$$\frac{1}{v_{14}} = 0{,}7279 \quad \log.\left(\frac{1}{v_{14}}\right)^2 + \log. 1{,}232 = 9{,}81462$$

und daraus $\log.\theta = 9{,}12901 \quad \theta = 0{,}135$

Reihe 23. Erwärmung im Zweige 5 bei Schliefsung von 5 und 8.

8	8,9	8,8	8,5
9	10,4	10,8	10,7
10	12,6	13,0	13,2

$\theta_{23} = 0{,}53$

mit den Werthen $\frac{1}{v_5} = 1{,}919 \quad \left[\frac{1}{v}\right] = 2{,}375$ giebt die Formel $\theta = 0{,}566$

Reihe 24. Erwärmung im Zweige 5 bei Schliefsung von 5 und 12.

8	4,0	4,2	4,0
9	5,0	5,0	5,0
10	6,0	6,0	6,2

$\theta_{24} = 0{,}247$

Die Werthe $\frac{1}{v_5} = 1{,}919$; $\left[\frac{1}{v}\right] = 3{,}838$ geben $\theta = 0{,}244$

Digitized by Google

Reihe 25. Erwärmung im Zweige 5 bei Schliefsung von 5 und 18. [486]

Elektricitäts-menge	Erwärmungen beobachtet		berechnet
8	6,8	6,6	6,6
9	8,6	8,4	8,3
10	9,8	10,0	10,2

$\theta_{25} = 0{,}41$

Die Werthe $\frac{1}{v_5} = 1{,}919$; $\left[\frac{1}{v}\right] = 2{,}715$ geben $\theta = 0{,}45$

Reihe 26. Erwärmung im Zweige 5 bei Schliefsung von 5 und 6.

12	6,1	6,2	5,6
14	7,5	7,7	7,6
16	9,4	9,7	9,9

$\theta_{26} = 0{,}155$

$\frac{1}{v_5} = 1{,}919$; $\left[\frac{1}{v}\right] = 5{,}138$ geben $\theta = 0{,}144$

Reihe 27. Erwärmung im Zweige 5 bei Schliefsung von 5 und 10

8	5,6	5,4	5,2
9	6,5	6,4	6,6
10	7,7	7,9	8,1

$\theta_{27} = 0{,}325$

$\frac{1}{v_5} = 1{,}919$; $\left[\frac{1}{v}\right] = 3{,}163$ geben $\theta = 0{,}344$

Reihe 28. Erwärmung im Zweige 14 bei Schliefsung von 14 und 8.

8	4,3	4,3	4,1
9	4,9	5,1	5,1
10	6,2	6,3	6,4

$\theta_{28} = 0{,}255$

$\frac{1}{v_{14}} = 0{,}7279$; $\left[\frac{1}{v}\right] = 1{,}184$ geben $\theta = 0{,}252$

In der folgenden Tafel sind die nach Formel III berech- 487
neten Werthe der Erwärmung in den Zweigen mit den beobachteten Werthen zusammengestellt.

Reihe	Erwärmung in einem Zweige. nach Formel III berechnet	beobachtet	Differenz in Theilen des berechneten Werthes
22	0,135	0,138	+ 0,022
23	0,566	0,53	− 0,064
24	0,244	0,247	+ 0,012
25	0,45	0,41	− 0,089
26	0,144	0,155	+ 0,076
27	0,344	0,325	− 0,055
28	0,252	0,255	− 0,011

Digitized by Google

[487] Bei dem grofsen Einflusse, den die der Rechnung zu Grunde gelegten Werthe auf das Resultat haben, und der Schwierigkeit, kleine Werthe von θ genau zu erhalten, erscheint die in der Tafel ersichtliche Uebereinstimmung genügend, die Gültigkeit der aufgestellten Formel III darzuthun.

488 Die Formeln II und III bestimmen die Erwärmung in einem verzweigten Schliefsungsbogen oder, da aus dieser Wirkung auf Ströme in den einzelnen Zweigen geschlossen werden darf, die Gesetze der Theilung des elektrischen Stromes. Aber nicht überall treten diese Gesetze so deutlich hervor, wie in den vorhergehenden Versuchen, bei welchen die Vorsicht gebraucht wurde, die Zweige in Bezug zum Stamme nur kurz und so zu wählen, dafs ihre Verzögerungswerthe nicht allzuweit von einander lagen. Ohne diese Beschränkung stimmen die Formeln weniger gut mit den Beobachtungen, und der Grund davon wird durch die extremen Fälle klar, in welchen man von vorn herein auf jede Anwendung einer Formel verzichtet. Ich hatte in dem oben gebrauchten Schliefsungsbogen einen Kupferdrath, 22 Zoll lang, $\frac{7}{24}$ Lin. dick, angebracht, und die Erwärmung an einer andern Stelle des Bogens zu 35,5 Scalentheilen bestimmt; als die Enden des Kupferdrathes durch einen 3,9 Fufs langen, sehr dünnen Platindrath (rad. 0‴,028) verbunden wurden, fand ich die Erwärmung 31,5, also geringer als früher. Man sieht sogleich, dafs dies Resultat nicht durch Theilung des Stromes bedingt sein kann. Kupfer- und Platindrath bildeten hier die beiden Zweige, und die Erwärmung wurde in dem Stamme untersucht. Diese Erwärmung konnte also nur durch die Dauer der Entladung verändert werden, und wir würden zu der widersinnigen Folgerung kommen, dafs eine gegebene Elektricitätsmenge in längerer Zeit entladen wird, wenn ihr zwei Wege zur Ausgleichung offen stehen, als wenn ihr nur einer derselben gegeben wäre. Als ich den Platindrath verlängerte, nahm die Erwärmung im Stamme zu, erreichte den Werth, den sie ohne Anbringung des Platindrathes hatte, und überschritt diesen Werth bei fortgesetzter Verlängerung des Drathes. Hierdurch zeigte es sich, dafs das erhaltene Resultat nicht unmittelbar durch die Theilung des elektrischen Stromes bedingt war, sondern

Digitized by Google

von einer gegenseitigen Störung der Ströme in den Zweigen herrührte, die wir bei der Elektro-Induction ausführlich kennen lernen werden. Es werden die elektrischen Ströme in den Zweigen nicht ausschliefslich durch den Strom des Stammes gebildet, sondern sie werden verändert durch eine eigenthümliche Elektricitätserregung in den Zweigen selbst. Dies ist ganz allgemein der Fall bei Zweigen irgend welcher Länge und Beschaffenheit, aber unter bestimmten Verhältnissen ist die Wirkung, die hier als Störung betrachtet wird, stärker als die durch Theilung des Stromes bedingte, und umgekehrt. Eine solche gegenseitige Beschränkung verschiedener Wirkungen findet in der ganzen Elektricitätslehre statt, und Versuche, die zur Bewährung der Gesetze einer einzeln hervorgehobenen Wirkung dienen sollen, müssen daher überall durch weitere oder engere Bedingungen beschränkt sein. [488]

Formeln über die elektrische Erwärmung.

Die gesammten Versuche über die Erwärmung des Schliefsungsbogens der elektrischen Batterie haben die folgenden drei Formeln geliefert: [489]

Wärmemenge an einer continuirlichen Stelle des einfachen Schliefsungsbogens

$$W = \frac{a V}{1 + b V} \cdot \frac{q^2}{s} \quad \ldots \quad (\mathrm{I})$$

des Stammes an einem verzweigten Bogen

$$W = \frac{a V}{1 + \frac{b}{\left[\frac{1}{V}\right]}} \cdot \frac{q^2}{s} \quad \ldots \quad (\mathrm{II})$$

des Zweiges, dessen Verzögerungswerth V_x ist

$$w_x = \frac{a V \frac{1}{V_x^2}}{\left[\frac{1}{V}\right]\left(\left[\frac{1}{V}\right] + b\right)} \cdot \frac{q^2}{s} \quad \ldots \quad (\mathrm{III})$$

q bedeutet die angewandte Elektricitätsmenge, s die Gröfse der Fläche, auf der sie angehäuft ist, mit a und b sind durch

Digitized by Google

[489] Versuche zu bestimmende Constanten bezeichnet. V' hängt von Stoff und Dimensionen des Drathes ab, dessen Wärme untersucht, V in gleicher Weise von dem Drathe, der zu einem constanten Schliefsungsbogen hinzugesetzt wird. Jede dieser letzten Gröfsen ist $= \frac{lx}{r^2}$, dem Producte der Länge des Drathes in eine von seinem Stoffe abhängige Constante (die Verzögerungskraft §. 464) dividirt durch das Quadrat seines Halbmessers. $\left[\frac{1}{V}\right]$ bedeutet die Summe aller $\frac{1}{V}$ von Dräthen, die in Form von Zweigen neben einander im Schliefsungsbogen liegen. Die Formel II ist die allgemeinste und enthält I und III als specielle Fälle in sich. Ein einfacher Schliefsungsbogen ist nämlich als ein Stamm mit Einem Zweige zu betrachten, wo also $\left[\frac{1}{V}\right]$ in $\frac{1}{V}$ übergeht. Hierdurch erhält man die Formel I. Die Wärme in einem Zweige kann nur von der durch ihn gehenden Elektricitätsmenge abhangen, also wird q in $\frac{q}{V\left[\frac{1}{V}\right]}$ verwandelt werden müssen. Dies giebt die Formel III.

490 Aus der empirischen Formel für die Erwärmung, die der reine Ausdruck der angestellten Versuche ist, erhält man durch Einführung des Ausdruckes für die Entladungszeit der Batterie (§. 436.) die hypothetische Formel. Die Entladungszeit ist, nach dem vorigen Paragraphe allgemein angegeben,

$$Z = (1 + \frac{b}{\left[\frac{1}{V}\right]})s$$

mit der dort angegebenen Bedeutung der Zeichen. Die Wärmemenge in einem Stücke des Schliefsungsbogens, dessen Verzögerungswerth V' ist, wird damit

$$W = a\frac{V'q^2}{Z}$$

proportional dem Verzögerungswerthe des Stückes, multiplicirt in das Quadrat der Elektricitätsmenge der Batterie und dividirt durch ihre Entladungszeit.

491 Den Entladungsstrom haben wir abhängig angenommen von der Elektricitätsmenge, der elektrischen Dichtigkeit der

Digitized by Google

Batterie und der Beschaffenheit des Schliefsungsbogens (§. 384). [491]
Da die letzteren beiden Bedingungen des Stromes in den Ausdruck für die Entladungszeit eingehen, so können wir nun einfacher den Strom als Function der Elektricitätsmenge q und der Entladungszeit Z betrachten. Durch welche Function dieser beiden Gröfsen der Strom gemessen wird, wäre gleichgültig, wenn nicht das Bedürfnifs verlangte, dafs die Function durch Beobachtung bestimmt, das heifst der Strom durch eine seiner Wirkungen gemessen werden soll. Hierdurch bleibt uns keine Wahl. Es giebt keine Wirkung des Stromes, die sich so leicht und sicher beobachten liefse, und deren Abhängigkeit von den mefsbaren Bedingungen des Stromes so klar daläge, wie die Erwärmung des Schliefsungsbogens. Es soll das Maafs des Stromes die Wärme sein, die er in einem Drathe von constanter Beschaffenheit erregt, und die Stärke des Stromes ist daher $I = \frac{q^2}{Z}$ zu setzen, wobei eine bestimmte Stärke als Einheit zu Grunde gelegt wird. Um die Stärke verschiedener Ströme mit einander zu vergleichen, müssen die Erwärmungen Θ eines constanten Thermometers beobachtet werden, und man hat dann im einfachen Schliefsungsbogen $I = \Theta = \frac{a q^2}{(1+bV)s}$ oder für die Einheit der Ladung $I = \frac{a}{1+bV}$ mit der §. 489 gegebenen Bedeutung der Zeichen.

Es wird zuweilen unter Stärke (Intensität) des elektri- 492
schen Entladungsstromes eine andere, bei dem galvanischen Strome gebräuchliche, Function von q und Z verstanden, die ich hier, um eine Verwechselung zu verhüten, mit anführen mufs. Der galvanische Strom dauert so lange, als die Schliefsung der Kette währt, seine Entladungszeit ist also leicht direct zu messen, wogegen die entladene Elektricitätsmenge nicht direct zu bestimmen ist. Man mifst den Strom durch seine in der Zeiteinheit ausgeübte chemische Wirkung, und setzt diese proportional der in der Zeiteinheit durch jeden Querschnitt des Schliefsungsbogens gegangenen Elektricitätsmenge. Uebertragen wir diese Bestimmung der Stärke des Stromes auf die elektrische Batterie. Es ist in dieser die gemessene Elektricitätsmenge q enthalten, die in der Zeit Z durch den

Digitized by Google

[492] Schliefsungsbogen entladen wird. Jeder Querschnitt des Bogens würde also, wenn die Entladung die Zeiteinheit hindurch gedauert hätte, die Elektricitätsmenge $\frac{q}{Z}$ durch sich haben hindurchgehen lassen. Die Stärke des Entladungsstromes in galvanischem Sinne ist also

$$i = \frac{q}{Z}$$

Diesen Ausdruck hat man zu setzen, wenn bei der Reibungselektricität von Intensität des Stromes in galvanischem Sinne gesprochen wird. Eine Bestätigung der Annahme der Elektricitätsmenge im galvanischen, und der Entladungszeit im elektrischen Strome kann in der folgenden Uebereinstimmung gefunden werden. Drücken wir das Gesetz der elektrischen Erwärmung (§. 490.) durch i aus, so kommt die Wärmemenge in einem Stücke des Schliefsungsbogens, dessen Verzögerungswerth V' ist,

$$W = a\frac{V'q^2}{Z} = aV'i^2Z.$$

Dies ist in der That die Formel, die mehrere Jahre später, als ich die Formel für die Erwärmung im Schliefsungsbogen der elektrischen Batterie aufgestellt hatte, durch Versuche über die Erwärmung im Schliefsungsbogen der galvanischen Kette gefunden worden ist.

493 Es ist hier überall von der Erwärmung einzelner Stellen des Schliefsungsbogens die Rede gewesen; man kann nun nach der gesammten Wärmemenge fragen, die in einem gegebenen Schliefsungsbogen frei wird, in den continuirlichen Strecken sowol, wie in den Verbindungsstellen. Hierüber sind bisher keine Versuche angestellt worden, Vorsselman de Heer hat diese Wärme nach meinen Formeln und Versuchen numerisch bestimmt, und gefunden, dafs sie unabhängig von dem gegebenen Bogen, einer Constanten gleich sei, die für die Einheit der Ladung $\frac{a}{b}$ beträgt [1]). Dies Resultat ist unter einer Voraussetzung, die wir freilich nicht zugestehen können, leicht ganz allgemein aus den Formeln abzuleiten. Es werde eine

[1]) Poggend. Ann.* 48. 298.

Digitized by Google

Batterie gleichzeitig durch n neben einander liegende conti- [493]
nuirliche Dräthe entladen, die an den Endpunkten mit einander verbunden sind. Die gesammte in allen Dräthen erregte Wärmemenge $[w]$ erhält man, wenn in Formel III §. 489 $V' = V_n$, ferner $n = 1\ 2$ bis n gesetzt, und die Summe der einzelnen Resultate genommen wird. So kommt

$$[w] = \frac{a}{\left[\frac{1}{V}\right] + b}$$

Der Verzögerungswerth der Endpunkte der Dräthe ist nach §. 436 dem Verzögerungswerthe eines Platindrathes gleich, dessen Radius 1 Lin., dessen Länge $\frac{1}{b}$ beträgt. Die Wärmemenge, die in diesem Drathe erregt würde, ist aber nach Formel II

$$W = \frac{a\frac{1}{b}}{1 + \frac{b}{\left[\frac{1}{V}\right]}} = \frac{\frac{a}{b}\left[\frac{1}{V}\right]}{\left[\frac{1}{V}\right] + b}$$

Die Gesammtwärmemenge im Schliefsungsbogen ist

$$[w] + W = \frac{a + \frac{a}{b}\left[\frac{1}{V}\right]}{\left[\frac{1}{V}\right] + b} = \frac{a}{b}$$

wird also unabhängig von jeder besondern Beschaffenheit und Einrichtung des Bogens. Aber vor einer solchen Anwendung der Formeln ist schon §. 436 gewarnt worden. Da in allen meinen Versuchen die Wärmemenge in continuirlichen Dräthen gemessen worden ist, so darf in den Formeln der Verzögerungswerth V' nur auf solche Dräthe bezogen werden, und die Ausdehnung der Formeln auf discontinuirliche Metallstrecken bedarf der Prüfung durch neue Versuche.

Theoretische Ableitung einiger Wärmeformeln.

Den für die Bewegung materieller Massen geltenden Satz, [493a]
dafs die in einem Körpersysteme während eines Zeitintervalles entstandene Zunahme der lebendigen Kraft gleich ist der dabei

Digitized by Google

[493a.] in dem Systeme geleisteten Arbeit, hat Helmholtz [1]) auf die Bewegung der Elektricität ausgedehnt, und Clausius [2]) später benutzt, einige elektrische Wärmeformeln abzuleiten. Indem nämlich Clausius von der Annahme ausging, dafs die Wärme im Schliefsungsbogen der Batterie durch eine Bewegung der kleinsten Theile des Bogens entsteht und als Maafs der lebendigen Kraft dieser Bewegung gelten kann, alle übrigen Wirkungen der elektrischen Entladung in Bezug auf die bei ihnen überwundenen Kräfte (wie z. B. den Widerstand eines Gases bei der Durchbrechung) als negative Arbeitsgröfsen in Rechnung zu setzen sind, gelangte er zu dem Satze: ***die Summe aller durch eine elektrische Entladung hervorgebrachten Wirkungen ist gleich der dabei eingetretenen Zunahme des Potentials der gesammten Elektricität auf sich selbst.*** Unter ***Potential*** der Elektricität auf sich selbst wird die Summe von Quotienten verstanden, die gebildet werden, wenn man die Elektricitätsmengen von je zwei Punkten einer elektrisirten Fläche in einander multiplicirt, und durch den gegenseitigen Abstand jener Punkte dividirt. Betrachtet man z. B. drei getrennte Punkte, die mit den gleichartigen Elektricitätsmengen $q\ q_{,}\ q_{,,}$ versehen sind, so ist das Potential dieser Elektricitäten auf sich selbst $-\left(\frac{q\,q}{r}+\frac{q\,q_{,}}{r_{,}}+\frac{q\,q_{,,}}{r_{,,}}\right)$ worin der Nenner jedes Bruches die Entfernung der beiden Elektricitätsmengen des Zählers von einander bedeutet. Das negative Vorzeichen wird hier den Producten gleichartiger Elektricitäten gegeben, um anzudeuten, dafs die Wirkung jener Punkte aufeinander in einer Abstofsung besteht. Das Potential einer Fläche wird durch die Gleichung bestimmt $P=-\frac{1}{2}\iint\frac{dq\,.\,dq'}{r}$, worin r den Abstand von je zwei elektrischen Elementen bedeutet, und die Integrale über die ganze elektrisirte Fläche ausgedehnt werden müssen. Zur Vereinfachung dieser Gleichung dient das einfache Integral $p=-\int\frac{dq}{r}$, das ***Potentialfunction*** einer elektrisirten Fläche in Bezug auf einen Punkt genannt, und ge-

[1]) Ueber die Erhaltung der Kraft. Berlin 1847.
[2]) Poggend. Ann.* 86. 337.

Digitized by Google

wöhnlich mit V bezeichnet wird. Es besteht aus der Summe [493a.] der Quotienten, die durch Division jedes elektrischen Elementes durch seine Entfernung von jenem Punkte gebildet werden. Es ist demnach allgemein das Potential der Elektricität einer leitenden Fläche auf sich selbst $P = \frac{1}{2}\int p\,dq$.

Dieser Ausdruck ist auf die beiden Belegungen eines Ansammlungsapparates anzuwenden, von welchen die innere Belegung die Elektricitätsmenge q, die äufsere, zur Erde abgeleitete, die Menge q' besitzt. Die Potentialfunction beider Belegungen in Bezug auf einen Punkt der inneren Belegung sei p, in Bezug auf einen Punkt der äufseren Belegung p'. Da die Elektricität auf beiden Belegungen ihre Gleichgewichtslage angenommen hat, so hat jede der beiden Potentialfunctionen für jeden Punkt der Belegungen denselben Werth, und das Integral der letzten Gleichung bezieht sich nur auf die auf beiden Belegungen verbreitete Elektricitätsmenge. Es ist also das Gesammtpotential der beiden Elektricitätsmengen q und q' auf sich selbst $P = \frac{1}{2}(qp + q'p')$.

Die Potentialfunction der äufseren Belegung p' ist Null, weil diese Belegung mit der Erde in leitender Verbindung steht, und es kommt nur darauf an, die Function für die innere Belegung zu finden. Diese Function ist von Form, Gröfse und Glasdicke des Ansammlungsapparates abhängig, und für eine kreisförmige Franklin'sche Tafel von Clausius[1]) berechnet worden: $p = -\frac{q}{b}4\pi c\left[1 - \frac{c}{a\pi}\left(\log.\frac{17{,}68\,a}{c} + 2\right)\right]$, wo a den Radius, b den Flächeninhalt einer Belegung, c die Glasdicke der Tafel und q die angewandte Elektricitätsmenge bezeichnet. Für die leydener Flasche ist diese Function nicht bekannt, aber Clausius zeigt, dafs sie einen dem obigen Ausdrucke ähnlichen Werth haben müsse, so dafs man für eine bestimmte Flasche $p = -\frac{q}{b}k$ setzen kann, wo b die Gröfse der inneren Belegung, q die angewandte Elektricitätsmenge, und k eine, von der Beschaffenheit der Flasche abhängige, Constante bezeichnet. Das Potential der Elektricität

[1]) Poggend. Ann.* 86. 203.

Digitized by Google

[493a.] der Flasche auf sich selbst ist demnach $P = -\frac{q^2}{b}\frac{k}{2}$. Setzt man eine Batterie aus s gleichen Flaschen zusammen, von welchen jede das eben bezeichnete Potential besitzt, so hat das Potential der Batterie den $s$fachen Werth. Für die Batterie ist $P = -\frac{(sq)^2}{sb}\frac{k}{2}$. Bezeichnen wir, wie früher, die ganze in die Batterie geführte Elektricitätsmenge mit q, und nehmen die Belegung einer Flasche zur Flächeneinheit, so erhält man das Potential einer Batterie, die aus s Flaschen besteht und die Elektricitätsmenge q erhalten hat,

$$P = -\frac{q^2}{s}\frac{k}{2}$$

Nach dem oben aufgestellten Satze ist die durch die Entladung der Batterie bewirkte Zunahme dieses Ausdruckes gleich der Summe aller durch die Entladung hervorgebrachten Wirkungen. Ist das Potential vor der Entladung P, nach der Entladung P', so ist die Summe aller Wirkungen bei unvollständiger Entladung durch $P' - P$, bei vollständiger durch $-P$ gegeben.

493b. Bei den sehr mannigfaltigen, zum Theil der Messung entgehenden, Wirkungen der Entladung läfst sich aus der vorhergehenden Bestimmung für die Erwärmung im Schliefsungsbogen eine Formel nur in den speciellen Fällen ableiten, in welchen man annehmen darf, dafs die Erwärmung einer bestimmten Stelle den übrigen Wirkungen im Schliefsungsbogen nahe proportional sei. Dies ist, wie sogleich klar ist, nur bei unverändertem Schliefsungsbogen erlaubt, für den sich die drei folgenden Formeln ergeben. Jede continuirliche Stelle des Bogens soll durch vollständige Entladung einer Batterie so erwärmt werden, dafs die erregte Wärme mit $-P$ oder $\frac{q^2}{s}$ (§. 493a.) proportional ist. Dies Gesetz ist früher aus den Beobachtungen abgeleitet und bisher überall angewendet worden. — Wir werden in der Folge eine eigenthümliche Entladung kennen lernen (§. 712.), die dadurch entsteht, dafs in einen constanten Schliefsungsbogen eine beliebige Anzahl von nicht geladenen Batterieflaschen eingeschaltet wird, die Condensatorflaschen genannt werden, um sie von den geladenen

Digitized by Google

Flaschen zu unterscheiden, welche die Batterie bilden. Bei [493b.] der Entladung werden die Condensatorflaschen geladen, die Batterieflaschen zum Theil entladen. Für die Erwärmung einer continuirlichen Stelle des hier gebrauchten Schliefsungsbogens habe ich die Formel aufgestellt und durch Versuche bestätigt (§. 714.)

$$\Theta = \frac{afq^2}{\left(\frac{s}{c}+f\right)s}$$

wo f das Verhältnifs der Belegung einer Condensatorflasche zu der einer Batterieflasche, s die Anzahl der Batterieflaschen, c die der Condensatorflaschen und q die Elektricitätsmenge bedeutet, mit der die Batterie geladen ist. — Das Potential der Batterie vor der Entladung ist $P = -\frac{q^2}{sS}\cdot\frac{k}{2}$, wo S den Flächeninhalt einer Batterieflasche und k eine von ihrer Beschaffenheit abhängige Constante ist; das Gesammtpotential von Batterie und Condensator nach der Entladung ist

$$P' = \frac{-\frac{1}{2}q^2}{\frac{sS}{k}+\frac{cC}{k'}}$$

wo C den Inhalt der Belegung einer Condensatorflasche, k' die für diese Flasche geltende Constante bezeichnet. Die durch die Entladung erregte Erwärmung wird gemessen durch

$$P'-P = \frac{\frac{1}{2}\frac{k^2}{k'}\frac{C}{S}q^2}{\left(\frac{s}{c}+\frac{k}{k'}\frac{C}{S}\right)sS}$$

Die Constanten k und k' müssen in meinen Versuchen nahe einander gleich gewesen sein, da ich durch Untersuchung der Schlagweite der Flaschen gefunden habe (§. 724.), dafs eine gegebene Elektricitätsmenge sich über Batterie und Condensator nahe im Verhältnisse ihrer Oberflächen vertheilt. Setzt man $k = k'$ und nimmt, wie früher, die Belegung einer Batterieflasche zur Flächeneinheit, so kommt die letzte, von Clausius abgeleitete, Formel vollkommen mit der meinigen überein.

Endlich hat Clausius eine Formel abgeleitet für einen

Digitized by Google

[493b.] Fall, in dem ich nur Beobachtungen gegeben hatte [1]). Es wurde eine Franklin'sche Batterie (§. 731.) aus zwei veränderlichen Elementen gebildet, und die Erwärmung an einer Stelle des Schliefsungsbogens bei der Entladung einer constanten Elektricitätsmenge beobachtet. In einer Versuchsreihe bestand das erste Element, das direct an der Elektrisirmaschine geladen wird, aus Einer Flasche, und das zweite Element wurde aus einer verschiedenen Zahl gleicher Flaschen gebildet; in einer anderen Reihe bestand das zweite Element aus Einer Flasche, und die Flaschenzahl des ersten Elementes wurde geändert. Bezeichnet S den Inhalt der Belegung einer Flasche, s_1 die Flaschenzahl des ersten, s_2 die des zweiten Elementes, q die in das erste Element gebrachte Elektricitätsmenge, so soll, nach der theoretischen Ableitung, die Erwärmung an einer Stelle des constanten Schliefsungsbogens ausgedrückt sein durch

$$\Theta = A\left(\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2}\right)\frac{q^2}{2S}$$

In den folgenden Beobachtungen war q und S constant, Θ ist Mittel aus zwei Beobachtungen. Die Rechnung ist mit dem Mittel der berechneten Constanten geführt nach

$$\Theta = 12{,}4\left(\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2}\right)$$

Erwärmung durch eine Franklin'sche Batterie mit 2 Elementen.

Flaschenzahl des ersten s_1	Flaschenzahl zweiten Elem. s_2	Erwärmung Θ beobachtet.	Erwärmung Θ berechnet.
1	1	23,9	24,8
	2	18,7	18,6
	3	17,1	16,5
	4	16,3	15,5
1	1	24,0	24,8
2		18,3	18,6
3		16,5	16,5
4		15,7	15,5

493c. Da das Potential die Summe aller Wirkungen bestimmt, so können die daraus für die Erwärmung abgeleiteten Formeln

[1]) Poggend Ann.[4] 80.356.

Digitized by Google

nur so lange gelten, als keine neue Wirkung im Schliefsungs- [493c.]
bogen zu den früheren hinzutritt. Man kann, wie sich später zeigen wird, dünne Dräthe durch eine gewisse Elektricitätsmenge leicht erschüttern und verbiegen. Befindet sich ein solcher Drath im Schliefsungsbogen, in dem man an einer anderen Stelle die Erwärmung bestimmt, so folgt diese bei verschiedenen Ladungen der Batterie dem Verhältnisse $\frac{q^2}{s}$ so lange, als der dünne Drath nicht erschüttert wird; wenn diese Erschütterung eintritt, erfolgt eine geringere Erwärmung, als die Formel verlangt, und eine noch geringere bei der Verbiegung des Drathes (§. 583.). Bleibt die Batterie und ihre Ladung, und damit der Werth des Potentials ungeändert, so mufs nach dem Hauptsatze jede Aenderung des Schliefsungsbogens, welche die Wärme an einer Stelle des Bogens ändert, an einer andern Stelle eine Aenderung der Wärme oder einer andern Wirkung in entgegengesetztem Sinne zur Folge haben. Dies wird durch den Versuch bestätigt. So zeigt die Grundformel für die elektrische Erwärmung (§. 466.), dafs durch Vergröfserung des Verzögerungswerthes einer Stelle des Schliefsungsbogens die Erwärmung im übrigen Theile des Bogens vermindert, dagegen in der veränderten Stelle eine gröfsere Wärmemenge frei wird. Bei der Erwärmung im specifisch unterbrochenen Bogen (§. 443.) wurde die Erwärmung desto kleiner gefunden, eine je gröfsere mechanische Wirkung die Entladung auf den im Bogen befindlichen Isolator ausübte. In dem Schliefsungsbogen der Franklin'schen Batterie nimmt die Erwärmung mit der Zahl der entladenen Elemente zu, aber in einem kleineren Verhältnisse, als diese Zahl (§. 736). Der Werth des Potentials ist der Zahl der Elemente proportional, da aber die Erwärmung bei vermehrter Zahl der Elemente auch in einer gröfseren Zahl von Zwischendräthen stattfindet, so mufs die Erwärmung im Schliefsungsbogen eine geringere Zunahme erfahren, als der Werth des Potentials. Bei verändertem Schliefsungsbogen reicht also der Hauptsatz zwar nicht hin, das Gesetz der veränderten Erwärmung abzuleiten, läfst aber im Allgemeinen den Sinn der Aenderung erkennen.

Digitized by Google

Empfindlichkeit des Luftthermometers [1]).

494 Um diese Empfindlichkeit zu prüfen, nimmt man eine Batterie an mit constanter Ladung und Schliefsung, in welche letztere das Thermometer eingeschaltet ist, und sucht die Veränderlichkeit der Anzeige θ nach einzelnen Bestimmungen des Thermometers auf. Es sei der Verzögerungswerth des Drathes im Thermometer $V = \frac{xl}{r^2}$, so ist nach §. 470 die darin erregte Wärmemenge

$$W = \frac{a}{\frac{1}{V} + b}$$

Mit diesem Werthe eliminirt man W in der Formel §. 418 und erhält so für θ

$$\theta = a : 904{,}3 \left(\frac{\cos.\varphi}{5040} + \frac{d}{K}\right)\left(0{,}00007341\,K + g\,C\,l r^2\right)\left(\frac{r^2}{lx} + b\right)$$

Neigung der Röhre φ. Das Thermometer ist desto empfindlicher je gröfser φ ist, der Winkel, den die Röhre mit der Verticalen bildet, und zwar nimmt die Empfindlichkeit um so schneller zu, je näher man der horizontalen Stellung kommt. Mit Anwendung einer fast 3zölligen Kugel und einer Röhre von 0,1203 Quadr.-Lin. Querschnitt ist bei Neigung der Röhre von $83\frac{1}{2}°$ die Anzeige des Thermometers 7mal, bei der Neigung von 87° 13mal, bei horizontaler Stellung 38mal so grofs, als sie bei verticaler Stellung der Röhre sein würde. Man würde stets die horizontale Stellung wählen, wenn man nicht bei dieser die Flüssigkeit im Gefäfse, welche den Vortheil der augenblicklichen Wiederherstellung des Normalstandes des Thermometers gewährt, fortlassen, und dafür einen kurzen Flüssigkeitsfaden anwenden müfste, dessen Einstellung durch Aenderung und Theilung der Flüssigkeit lästig wird.

495 Querschnitt der Röhre d. Die Empfindlichkeit wächst mit Abnahme des Querschnittes, aber man darf diesen nicht zu klein nehmen, weil die Bewegung der Flüssigkeit durch

[1]) Poggend. Ann.* 52. 315 ff.

Digitized by Google

Capillarität erschwert wird. Bei engen Röhren läfst man die [495]
Flüssigkeit ungefärbt; ich habe bei solchen Alkohol von spec. Gewicht 0;8166 angewendet.

Volumen der Kugel K. Das Volumen hat eine Gränze bis zu der es mit Vortheil vergröfsert werden kann. Diese Gränze wird gefunden, wenn man die Gleichung nach K differentiirt $\frac{d\vartheta}{dK} = 0$ setzt und daraus K entwickelt.

Es kommt

$$K = 8285{,}4\, r \sqrt{\frac{g\, C\, l\, d}{\cos.\, \varphi}}$$

Dieser Werth ist abhängig von dem Drathe, der in der Kugel ausgespannt wird. Ein Platindrath von 143,5 Linien Länge, 0,04098 Radius würde, wenn der Querschnitt der Röhre 0,1273 Quadrat-Linie beträgt, ein Luftvolum von 3504 Kubik-Linien, also eine Glaskugel von 18,84 Lin. Durchmesser verlangen, um dem Instrumente die gröfste Empfindlichkeit bei der Neigung von 83½ Grad zu geben. Ich habe mich indefs niemals einer Kugel von weniger als 2½ Zoll Durchmesser bedient, da bei einer kleineren Kugel der Einfluſs der Glashülle auf die Anzeige des Thermometers zu bedeutend wird. Die Empfindlichkeit des Instrumentes ist für specielle Zwecke leicht durch Neigung der Röhre zu erlangen. Liegt die Röhre horizontal, so sieht man, dafs das durch den Drath bedingte Luftvolum keine Gränze hat, die Gröfse der Kugel daher stets vortheilhaft ist.

Metall des Drathes. Das Metall des Drathes in der [496]
Kugel ist am vortheilhaftesten so zu wählen, dafs seine Verzögerungskraft x möglichst grofs und zugleich das Product Cg (Wärmecapacität und specifisches Gewicht) möglichst klein sei, eine Bedingung die das Blei erfüllt, nächstdem Neusilber und Platin. Die Unveränderlichkeit des Platins und der Umstand, dafs es leicht in Drathform verschiedener Dicke zu erhalten ist, macht dies Metall vorzugsweise zum Gebrauche im Thermometer geeignet.

Länge des Drathes. Durch Verlängerung des Drathes kann die Empfindlichkeit des Thermometers nur bis zu einer

Digitized by Google

[496] Gränze gesteigert werden. Man findet die vortheilhafteste Länge auf dieselbe Weise wie das vortheilhafteste Volumen,

$$l = \sqrt{\frac{0{,}00007341\,K}{C g x b}}$$

Diese Länge ist abhängig von dem Volumen der Kugel, dem Metalle des darin ausgespannten Drathes und der Constante b, die sich mit dem angewandten Schliefsungsbogen der Batterie ändert. Diese Constante kann aus zwei Versuchen bestimmt werden. Um ein Beispiel zu geben: Ich hatte zu einem Schliefsungsbogen ein Thermometer (dessen Kugel 22668 Kubik-Linien Inhalt hatte) mit verschiedenen Dräthen hinzugesetzt. Als ein Messingdrath 99,8 Lin. lang, Radius 0,04266, im Thermometer ausgespannt war, wurde die Anzeige des Thermometers θ für Einheit der Ladung 1,01 gefunden, als ein Golddrath angewendet wurde von 125 Linien Länge Rad. 0,03933, erhielt ich $\theta = 0{,}61$. Hiernach findet man aus der Formel

$$W = \frac{a}{\frac{1}{V} + b}$$

$b = 0{,}00002109$ und die vortheilhafteste Länge für Platin $l = 345{,}8$ Lin. Man würde daher in jenem Schliefsungsbogen durch Verlängern des Platindrathes im Thermometer die Empfindlichkeit des Instrumentes so lange steigern, bis man die (beiläufig nicht anwendbare) Länge von 345,8 Lin. erreicht hätte.

Dicke des Drathes r. Endlich kann man die Empfindlichkeit des Thermometers durch Verringerung der Dicke des Drathes steigern, und dies Mittel ist das wirksamste von allen. Die Gleichung zeigt in zwei Factoren den grofsen Einflufs, den eine Verringerung von r auf die Vergröfserung von θ äufsert, und ferner, dafs θ mit abnehmendem r zunimmt, welchen Werth auch die übrigen Veränderlichen haben mögen. So verschieden daher auch die Empfindlichkeit des elektrischen Luftthermometers bei speciellen Versuchen verlangt wird, so ist sie doch fast überall an demselben Instrumente zu erlangen, das man, je nach dem Bedarfe, mit verschieden langen und dicken Platindräthen versieht.

Digitized by Google

Drittes Kapitel.

Die magnetische Wirkung der Entladung.

Dem elektrischen Strome, der angenommenen Ursache der 497
Veränderungen des Schliefsungsbogens durch die Entladung der Batterie, haben wir eine *Richtung* zugeschrieben (§. 382.), von welcher, wie von der gröfseren oder geringeren Stärke des Stromes, jene Veränderungen im Allgemeinen abhängig sind. Den Einfluſs der Stromstärke, einer bestimmten Function der direct gemessenen Elemente: Elektricitätsmenge, Dichtigkeit, Beschaffenheit des Schliefsungsbogens, habe ich bei der Erwärmung auf das Bestimmteste angeben und in einer grofsen Anzahl verschiedenartiger Versuche bestätigen können, aber die Richtung des Stromes ist, als einfluſslos, gänzlich unbeachtet geblieben. Bei der magnetischen Wirkung der Entladung stellt sich scheinbar der umgekehrte Fall dar, der Einfluſs der Richtung des Stromes ist überall deutlich nachweisbar, aber der der Stärke ist häufig verborgen. Dies rührt keinesweges davon her, daſs bei dem Magnetismus des Schliefsungsbogens die Stärke des Entladungsstromes gleichgültig wäre, sondern hat die zufällige Ursache, daſs die Untersuchungsmittel in diesem Felde bis jetzt ungenügend, und die Versuche, bei welchen jene angewendet werden können, äufserst beschränkt sind.

Ein Körper sei magnetisch, besagt, daſs er bei freier 498
Beweglichkeit eine bestimmte Lage gegen die Erdaxe annimmt; die Stellung seiner Endpunkte gegen die Pole der Erde bestimmt die *Richtung* seines Magnetismus. Dreht man den Körper aus seiner Ruhelage, so kehrt er mit einer Kraft, die durch die Dauer einer bestimmten Anzahl seiner Schwingungen gemessen wird, in diese Lage zurück. Diese Kraft bestimmt die *Stärke* seines Magnetismus. Statt dieser unmittelbaren Messung des Magnetismus kann man eine

Digitized by Google

[498] mittelbare anwenden, indem man den magnetischen Körper in eine bestimmte Lage gegen eine bewegliche Magnetnadel bringt, diese dadurch aus ihrer Ruhelage, dem magnetischen Meridiane, ablenkt und zu einer neuen Ruhelage bringt. Aus dem Winkel, den die neue Lage mit der früheren bildet, kann Richtung und Stärke des Magnetismus des ablenkenden Körpers bestimmt werden.

499 Die unmittelbare Messung ist an dem Schliefsungsbogen der Batterie nicht anzuwenden, und die mittelbare, in wenigen Fällen ausführbar, giebt für sich keine Auskunft über die Stärke des Magnetismus des Schliefsungsbogens. Der Schliefsungsbogen bleibt nämlich nur während der Entladung der Batterie magnetisch, also eine so kurze Zeit, dafs die bewegliche Magnetnadel nicht zu einer dauernden Elongation abgelenkt, sondern nur, wie durch einen Stofs, bis zu einer gewissen Weite von dem Meridiane entfernt wird, und dann wieder in denselben zurückkehrt. Dieser Ausschlag der Nadel giebt zwar die Richtung, aber nicht die Stärke des Magnetismus im Schliefsungsbogen an; er hängt ersichtlich von dieser Stärke ab, aber zugleich von der Zeit, während welcher der Bogen magnetisch geblieben ist. Wir dürfen annehmen, dafs in den meisten Fällen der Schliefsungsbogen wieder unmagnetisch geworden ist, wenn die Magnetnadel ihre Bewegung beginnt, und dafs die ihr ertheilte Geschwindigkeit proportional dem Producte der Stärke des Magnetismus in seine Dauer, diese aber der Entladungszeit der Batterie gleich sei. Die der Nadel ertheilte Geschwindigkeit ist nach Gesetzen der Mechanik [1]) wie bei einem angestofsenen Pendel, proportional der Sehne des Ausschlagswinkels. Bezeichnet also e den Ausschlagswinkel der Nadel, M die Stärke des Magnetismus im Schliefsungsbogen, Z die Entladungszeit, so hat man

$$\text{chord. } e = aMZ$$

Die relative Stärke des Magnetismus ist also dem Ausschlagswinkel zu entnehmen, wenn die Entladungszeit der Batterie bekannt ist. Diese Zeit ist mit Hülfe der Wärmeversuche hypothetisch von den Bedingungen des Stromes abhängig

[1]) *Poisson traité de mécanique* 2. 117.

Digitized by Google

dargestellt worden, und so werden wir auch den Magnetismus [499]
des Schliefsungsbogens in Beziehung zu diesen Bedingungen setzen können.

Das Instrument, an dem die Ablenkung der Magnetnadel 500
durch den Schliefsungsbogen beobachtet wird, besitzt eine Einrichtung, zufolge welcher nur sehr schwache Entladungen der Batterie angewendet werden können, Entladungen, die sich am empfindlichsten Thermometer kaum durch die Erwärmung bemerklich machen lassen. Der Magnetismus des Schliefsungsbogens ist nur bei sehr schwachen Strömen, die durch Einschaltung von Halbleitern in den Schliefsungsbogen erhalten werden, mit Hülfe der Ablenkung zu ermitteln. Für stärkere Ströme, bei ganz metallischer Schliefsung der Batterie, hat man zu einer anderen Wirkung des magnetisirten Schliefsungsbogens seine Zuflucht genommen. Eine Stahlnadel wird durch Berührung mit einem Magnete dauernd magnetisch; sie wird es in gleicher Weise, wenn sie, ohne den Schliefsungsbogen zu berühren, quer gegen ihn gelegt, und die Entladung der Batterie vollzogen wird. Wenn aber im ersten Falle aus dem Magnetismus der Nadel auf den Pol des berührenden Magnets geschlossen wird, und eine rohe Schätzung der Stärke dieses Magnets zulässig ist, so ist im zweiten Falle ein Zurückgehen auf den Magnetismus des Schliefsungsbogens nicht erlaubt. Es zeigt sich nämlich die Richtung und relative Stärke des Magnetismus der Nadel nicht allein abhängig von den Bedingungen des Entladungsstromes, sondern auch von der absoluten Entfernung der Nadel vom Schliefsungsbogen, dem Materiale und den Dimensionen der Nadel. Wenn zwei gleichgerichtete Entladungsströme zwei, in dieselbe Entfernung vom Schliefsungsbogen gelegte, Nadeln in gleichem Sinne magnetisiren, und dem stärkeren Strome die stärkere Magnetisirung entspricht, so kann der entgegengesetzte Erfolg eintreten, wenn die absolute Stärke der Ströme verändert oder eine andere Entfernung gewählt, oder endlich eine andere Nadelsorte angewendet wird. Hiermit verliert die Magnetisirung jeden Werth für die vorliegende Untersuchung, da wir nach Prüfung des Magnetismus einer Nadel weder auf die Richtung noch die Stärke des Magnetismus im Schliefsungsbogen einen Schluſs wagen dürfen.

Digitized by Google

501 Nach dem Vorhergehenden würde die Untersuchung des Magnetismus im Schliefsungsbogen auf die wenigen speciellen Versuche beschränkt sein, in welchen eine momentane Ablenkung einer Magnetnadel erhalten wird, und selbst in diesen Fällen müssen wir in Bezug auf die Stärke des Magnetismus Annahmen zugestehen, die bisher noch nicht durch Versuche hinlänglich geprüft sind. Ich werde daher die Hauptfrage zurückstellen, und die beobachteten Effecte des durch die Entladung magnetisirten Schliefsungsbogens auf die Magnetnadel und die Stahlnadel für sich abhandeln. Wir betrachten also Wirkungen des durch die Entladung veränderten Schliefsungsbogens, die für die Elektricitätslehre dadurch wichtig werden, dafs sie von den Bedingungen der Entladung selbst abhangen, wenn wir auch den Zusammenhang mit diesen Bedingungen nicht im Allgemeinen angeben können. Wo dieser Zusammenhang fehlt, wie bei einem Theile der Magnetisirungen von Stahlnadeln, gehören die Versuche gar nicht in die Elektricitätslehre, und werden hier nur der Vollständigkeit wegen mit aufgeführt. Solche Versuche fallen der Lehre von der Magnetisirung zu, und müssen dort ihre Bedeutung und Erklärung erhalten, wozu freilich bis jetzt noch wenig Aussicht vorhanden ist.

Die Ablenkung der Magnetnadel durch den Schliefsungsbogen.

502 Der Schliefsungsbogen der elektrischen Batterie lenkt, wie der der galvanischen Kette, eine in seiner Nähe stehende Magnetnadel in einer eigenthümlichen Weise ab, die durch keine dauernd magnetisirten Stahlstäbe hervorgebracht werden kann. Die Art der Ablenkung läfst sich am leichtesten an zwei Magnetnadeln deutlich machen, die einander diametral gegenüber an verschiedenen Seiten des Schliefsungsbogens angebracht sind. Man denke sich den Schliefsungsbogen winkelrecht gegen die Papierfläche der Fig. 101, und c als einen Querschnitt des Bogens. Man ziehe willkürlich einen Durchmesser des Querschnittes, verlängere ihn, und denke sich winkelrecht darauf zwei Magnetnadeln befestigt, die sich frei um

Digitized by Google

den Durchmesser als Axe drehen können. Die Nadeln werden [502]
durch die Richtkraft der Erde einander parallel gestellt und zwar so, dafs ihre gleichnamigen Pole einander gegenüber liegen. Bei dem Durchgange eines galvanischen Stromes durch den Schliefsungsbogen drehen sich die Nadeln, nach entgegengesetzter Richtung, der Ebene des Querschnittes zu, und kommen, bei gehöriger Stärke des Stromes, ganz in der Ebene zu liegen, so aber, dafs jetzt ihre ungleichnamigen Pole einander gegenüber liegen, wie es die Figur zeigt. Die absolute Lage der Pole jeder Nadel ist durch die Richtung des galvanischen Stromes gegeben, und wird in allen Fällen durch die folgende *elektromagnetische* Regel gefunden. Man denke sich eine menschliche Figur, das Gesicht der Magnetnadel zugewendet, mit ausgestrecktem *linken* Arme, so in dem Schliefsungsdrathe liegend, dafs der Strom von den Füfsen zum Kopfe der Figur fliefst. Die Nadel wird sich durch Wirkung des Stromes mit ihrem *bezeichneten* Pole dem ausgestreckten Arme der Figur nähern. Bezeichneter Pol heifst das Ende der Magnetnadel, das bei freier Beweglichkeit nach dem Nordpole der Erde zeigt. Die Zeichnung 101 giebt hiernach durch Stellung jeder der beiden Nadeln an, dafs der Strom von dem Beschauer nach dem Papiere zu fliefse. Die Ablenkung findet in diesem Sinne statt, die Magnetnadel mag horizontal, vertical oder in geneigter Stellung gegen den Schliefsungsdrath angebracht sein.

Sechs Jahre nach der Entdeckung der Ablenkung der [503]
Magnetnadel durch den galvanischen Strom gelang es Colladon, die Nadel durch den elektrischen Entladungsstrom abzulenken [1]). Der gerade ausgespannte Schliefsungsdrath genügt nicht, eine Ablenkung hervorzubringen, da nur ein kleiner Theil desselben auf die Nadel wirken kann. Man läfst den Drath daher mit Seide umspinnen, windet ihn zu einem hohlen Knäuel auf, und bringt in dem Innern des Knäuels die bewegliche Magnetnadel an, deren Richtkraft nach dem Meridiane, die der elektrischen Drehung entgegenwirkt, man häufig durch geeignete Mittel schwächt. Ein so aufgewundener Schliefsungsdrath mit der Nadel bildet das bei galvanischen Versuchen

[1]) *Annales de chimie et de phys.* 33. 62. Poggend. Ann. 8. 336.

Digitized by Google

[503] gebräuchliche Instrument, *Galvanometer* oder *Multiplicator* genannt, dessen Einrichtung zu elektrischen Versuchen ich unten (§. 507.) genauer beschreiben werde. Colladon befestigte das eine Ende des Multiplicatordrathes an dem positiven, das andere an dem negativen Conductor einer Nairne'schen Elektrisirmaschine (§. 285.), und erhielt durch gleichmäfsiges Drehen der Maschine Ablenkungen der Magnetnadel bis 35 Grad nach der einen oder andern Seite, je nach der Richtung des Stromes im Multiplicator. Die Richtung der Ablenkung war der §. 502 gegebenen Regel entsprechend. Wenn die Fig. 101 den Querschnitt eines Stückes der Multiplicatorwindung angiebt, so zeigt die Lage der beiden Nadeln, dafs das über dem Papiere liegende Ende des Multiplicatordrathes mit dem positiven Conductor der Elektrisirmaschine in Verbindung gesetzt war. Colladon gab ferner an, dafs die Gröfse des Ausschlagswinkels der Nadel proportional der Geschwindigkeit war, mit welcher die Elektrisirmaschine gedreht wurde.

504 Dieser Versuch kann mit gleichem Erfolge an jeder kräftigen Scheibenmaschine angestellt werden, ohne dafs man nöthig hat, das eine Ende des Multiplicators mit dem isolirten Reibzeuge zu verbinden. Es genügt, dafs dieses Ende, ebenso wie das Reibzeug, vollkommen zur Erde abgeleitet sei. Um die Ablenkung der Nadel möglichst grofs zu erhalten, *mufs man* die Elektrisirmaschine in Pausen drehen, die der Schwingungsdauer der Nadel gleich sind, so dafs die Entladung des Conductors nur während der Schwingung der Nadel nach der betreffenden Seite erfolgt. Zu mehr, als dem Aufzeigen der Erscheinung, können aber diese Versuche nicht dienen, da weder der Einfluſs der entladenen Elektricitätsmenge, noch der der Dichtigkeit, noch der des Schliefsungsbogens dargelegt werden kann, und die schwankende Ablenkung der Nadel durch eine Menge von Impulsen hervorgebracht wird, welche die Nadel an verschiedenen Punkten ihrer Bahn treffen. Weit wichtiger ist die folgende Art, auf welche Colladon die Ablenkung hervorbrachte. Er lud eine Batterie von 30 Flaschen, die zusammen eine Belegung von etwa 27 Quadratfufs besafsen, legte das eine Ende des Multiplicatordrathes an die äufsere Belegung an, und näherte das andere Ende, welches mit einer feinen

Digitized by Google

Spitze versehen war, mittels eines Glasstieles der inneren Be- [504]
legung der Batterie. Als die Spitze aufserhalb der Schlagweite die Batterie geräuschlos entlud, erfolgte die Ablenkung der Magnetnadel nach der einen oder anderen Seite, je nachdem die Batterie mit positiver oder negativer Elektricität geladen war. Auch hier war die Richtung der Ablenkung der obigen Regel gemäfs.

In diesem Versuche kann die entladene Elektricitätsmenge 505
und deren Dichtigkeit abgemessen werden, aber die Entladung selbst ist nicht constant zu erhalten, da die Spitze die Entladung schon in bedeutender Entfernung von der inneren Belegung herbeiführt. Stellt man die Spitze in die Schlagweite, und bringt so die normale, von einem Funken begleitete, Entladung hervor, so erfolgt keine Ablenkung, weil die Entladung, statt längs den Windungen des Multiplicators, quer durch die Windungen geht. Man kann aber die Spitze entbehren und die Entladung in der Schlagweite eintreten lassen, wenn man durch Einschaltung eines feuchten Leiters in den Schliefsungsbogen die Entladungszeit sehr grofs macht. Faraday [1]) benutzte eine Batterie von 8 Flaschen (jede von nahe $1\frac{1}{2}$ Quadr.-Fufs Belegung), legte das eine Ende des Multiplicatordrathes an die äufsere Belegung, und band an das andere Ende einen mit Wasser befeuchteten Zwirnfaden oder eine feuchte Hanfschnur; ein an der Schnur befestigter Metallstab diente zur Entladung. Als die Batterie durch 30 Umdrehungen einer Elektrisirmaschine geladen war, brachte ihre Entladung eine Ablenkung der Magnetnadel von 22 Graden hervor, und genau dieselbe Ablenkung erfolgte, als noch 7 Flaschen hinzugesetzt wurden und die Batterie wieder durch 30 Umdrehungen geladen war. Wurden hingegen 60 Umdrehungen zur Ladung gebraucht, so war die Ablenkung der Magnetnadel fast doppelt so grofs.

Die Beschaffenheit des eingeschalteten feuchten Leiters 506
wurde in den folgenden Versuchen geändert. Faraday lud eine Batterie zu verschiedenen Malen durch 50 Umdrehungen der Maschine, und leitete den Multiplicatordrath, zu dem ent-

[1]) *Exper. researches* al.* 363—68.

Digitized by Google

[506] weder ein 4 Fufs langer feuchter Zwirnfaden hinzugesetzt war, oder eine mit destillirtem Wasser benetzte Hanfschnur von 38 Zoll Länge, oder eine 12mal dickere Schnur von 1 Fufs Länge, die mit einer verdünnten Säure genäfst war. Bei diesen verschiedenen Einschaltungen war die Ablenkung der Magnetnadel fast dieselbe; bei Anwendung der dünnen Schnur und des Fadens etwas gröfser, als bei Anwendung der dicken Schnur. Weber[1]) entlud eine Batterie, die stets zu beinahe demselben Grade geladen war, durch einen Multiplicator und eine mit Wasser benetzte Hanfschnur von 3,1 Lin. Dicke. Als diese Schnur 73,8 Zoll lang war und in vier folgenden Versuchen zur Hälfte, zuletzt also bis 4,6 Zoll verkürzt wurde, erfolgte durch die Entladung ziemlich dieselbe Ablenkung der Nadel. Als hingegen eine Hanfschnur von 11,8 Zoll Länge 1,8 Lin. Dicke, und dann statt derselben eine Uförmig gebogene mit Wasser gefüllte Glasröhre (44,3 Zoll lang, 5,7 Lin. weit) zur Entladung benutzt wurde, war die Ablenkung im ersten Falle ungefähr 12mal so grofs, als im zweiten.

507 Der Multiplicator. Ich selbst habe Versuche an einem Multiplicator angestellt, der auf folgende Weise angefertigt war. Zwei verticale Holzleisten, 3 Zoll lang, 9 Lin. hoch, durch zwei dicke, fast 2 Zoll lange, Glasstäbe fest mit einander verbunden, bilden den Rahmen für den aufzuwindenden Drath. Dieser, aus Kupfer, 105 Fufs lang, $\frac{1}{6}$ Lin. dick, dreifach mit Seide umsponnen, war auf eine Rolle gewickelt, deren Axe beliebig festgestellt werden konnte. Von dem Drathe wurden ungefähr 14 Fufs abgewickelt, straff ausgespannt, zweimal mit Schellackfirnifs bestrichen und, ehe dieser trocken war, um die Glasstäbe des Rahmens in dicht nebeneinander liegenden Windungen gelegt. Mit einer anderen Drathstrecke wurde ebenso verfahren, und eine Lage von Windungen gebildet, welche die ganze Breite des Rahmens, bis auf einen in der Mitte befindlichen Spalt von 1 Lin. Breite, bedeckte. Die Lage wurde nun im Ganzen gefirnifst, mit Wachstaft bedeckt, und darauf eine zweite Lage gelegt. Der Rahmen erhielt so

[1]) Abhandl. bei Begründung der sächs. Gesellsch. d. Wissensch. Elektrodynamische Maafsbestimmungen" 86. Seite.

Digitized by Google

5 Lagen, die aus 260 Windungen bestanden; die Enden des [507]
Drathes waren in einiger Länge frei gelassen. Auf einem durchbohrten Fufsbrette ist eine dicke Holzscheibe mit einem verticalen Zapfen aufgesetzt (Fig. 102.), die mittels des seitlich vorstehenden Armes *a* gedreht werden kann. Die Scheibe ist ausgeschnitten, so dafs der Rahmen mit den Drathwindungen horizontal hineingeschoben werden konnte. Das Fufsbrett ist mit Stellschrauben versehen, und trägt einen 9 Zoll langen verticalen Metallstab, der sich oben horizontal umbiegt und in einem Ringe endigt. In diesem Ringe ist ein durchbohrter Metallcylinder *b* drehbar, durch den ein Drath hindurchgeht, der in einer Schraubenspindel endigt, und mittels der oben sichtbaren Mutter *c* gehoben und gesenkt werden kann. An dem unteren Ende des Drathes wird ein feiner Seidenfaden befestigt zur Aufhängung der Magnetnadel. Zur Abhaltung von Luftströmen dient ein aufgesetztes Glasgehäuse, das die obere Schraube und die Enden des Multiplicatordrathes durch sich hindurchläfst.

In den Multiplicatorgewinden kann eine einfache oder 508
doppelte Magnetnadel benutzt werden. Die einfache Nadel. Sie wurde aus gehärtetem Stahldrathe gefertigt (Länge $22\frac{1}{2}$ Lin., Dicke 0,4 Lin.), und durch das untere Ende eines 5 Lin. langen Bügels aus Silberdrath gesteckt, dessen oberes Ende eine Borste als Zeiger trug, und an dem erwähnten Seidenfaden befestigt wurde. Die Nadel wurde durch den Schlitz in das Drathknäul hinabgelassen, und ihre Stellung durch die Stellschrauben des Fufsbrettes und die obere Schraube der Aufhängung so regulirt, dafs der Zeiger frei über einer Eintheilung spielte, die 2 Grad angab. Beim Transporte des Instrumentes wird der Seidenfaden gesenkt, so dafs der Zeiger auf der Eintheilung ruht. Es ist zu bemerken, dafs die Magnetnadel hier unter und über dem Schliefsungsdrath der Batterie steht (als solcher dient jede Windung des Drathknäuls), aber dennoch nach derselben Seite abgelenkt wird. Man sieht, dafs der Strom in dem oberen Theile jeder Windung in einer, auf die Nadel bezogenen, entgegengesetzten Richtung fliefst als in dem unteren, und dafs daher nach der Regel §. 502 beide Theile die Nadel nach derselben Seite hin ablenken. Bei dem Ge-

Digitized by Google

[508] brauche wird das Instrument so gestellt, dafs die Nadel den Drathwindungen parallel steht, was durch den Hebel *a* leicht zu erreichen ist. Wegen der grofsen Nähe der Drathwindungen dürfen bei dem Multiplicator nur sehr schwache Entladungsströme gebraucht werden. Dann aber ist die Ablenkung der Nadel so gering, dafs sie auch durch eine feinere Gradtheilung, als die hier gebrauchte, nicht genau gemessen werden kann. Man mufs deshalb eine andere Art, die Ablenkung zu messen, anwenden, die aber gröfsere Dimensionen des Instrumentes verlangt (siehe unten), oder die Ablenkungen vergröfsern, indem man die Richtkraft der Magnetnadel verringert. Das Letzte geschieht in der folgenden Weise, entweder durch Anbringung eines festen Magnets, oder durch Anwendung einer Doppelnadel statt der einfachen.

509 Man bringt den festliegenden Magnet in der Verlängerung der schwebenden Nadel an; hierzu ist ein genau in den Meridian gerichtetes Lineal in der Höhe der Nadel an dem Fufsbrette des Instrumentes befestigt. Der Nutzen dieser Einrichtung erhellt so. Je stärker die bewegliche Magnetnadel magnetisirt ist, eine desto kräftigere Einwirkung erfährt sie von der Entladung, aber ohne Gewinn, da zugleich die Nadel mit gröfserer Kraft in ihrer Ruhelage zurückgehalten wird. Ist ihr aber der feste Magnet genähert und zwar so, dafs gleichnamige Pole einander gegenüberstehen, so bleibt die elektrische Einwirkung dieselbe, aber die Richtkraft der Nadel ist vermindert, da diese die Nadel in dem Meridiane zu erhalten, der Pol des Magnets sie daraus zu entfernen strebt. Je näher der Magnet der Nadel liegt, desto gröfser ist ihre Ablenkung durch den Strom, aber zugleich tritt der Uebelstand ein, dafs die Nadel nicht mehr in dem Meridiane zur Ruhe kommt, sondern mit diesem einen Winkel bildet, ihre Empfindlichkeit daher in der einen Richtung gröfser ist, als in der anderen, und die Chorde der Ablenkung nicht mehr ein Maafs für die Gröfse des elektrischen Impulses ist. Man mufs bei Anwendung dieser Methode darauf sehen, dafs die Nadel nur wenig durch den Magnet aus dem Meridiane gelenkt wird, kann damit aber keine grofse Empfindlichkeit der Nadel zu Wege bringen. Gebräuchlicher ist daher die folgende Art, die Ablenkung durch den Strom zu vergröfsern.

Digitized by Google

Die magnetische Doppelnadel. An dem oberen 510
Ende des Bügels (§. 508.) wird statt des Zeigers eine zweite Magnetnadel, der ersten an Dimensionen gleich und derselben parallel, so befestigt, dafs die ungleichnamigen Pole der beiden Nadeln einander gegenüberstehen. Durch diese entgegengesetzte Lage der Pole geschieht es, dafs der Strom, zufolge der Regel §. 502, die Doppelnadel nach derselben Seite ablenkt. Die Richtkraft dieses Nadelsystems wird durch den Unterschied des Magnetismus beider Nadeln bestimmt, und würde, wenn beide Nadeln vollkommen in derselben Verticalebene lägen, bei Gleichheit des Magnetismus Null sein, das heifst, das System würde in jeder Richtung zur Ruhe kommen, also zu den beabsichtigten Versuchen unbrauchbar sein. Liegen die beiden Nadeln, wie gewöhnlich der Fall ist, nicht genau in derselben Ebene, so bildet ihre Ruhelage mit dem Meridiane einen Winkel, der desto gröfser, je geringer der Unterschied des Magnetismus beider Nadeln ist. Auch diesen Fall mufs man vermeiden, da die geringste Aenderung in dem Magnetismus einer Nadel dem Systeme eine andere Ruhelage giebt. Es sind daher die Nadeln so zu magnetisiren, dafs die eine merklich stärker magnetisch als die andere ist, und beide combinirt eine nicht zu geringe Richtkraft besitzen. Zur Prüfung der Nadeln ist es genügend, sie an eine feste Stelle einer Bussole zu legen und die Abstofsung zu beobachten; ehe man dieselben zum Gebrauche im Multiplicator mit einander verbindet, mufs man sich überzeugt haben, dafs sie ihren Magnetismus nicht mehr ändern. Eine Doppelnadel von geringer Richtkraft, die für sich eine bestimmte Lage annimmt, thut dies nicht unbedingt, wenn sie in das Drathknäuel des Multiplicators hinabgelassen ist. Man findet dann häufig, dafs die Nadel zwar für einen Augenblick den Windungen parallel gestellt werden kann, aber, aus dieser Lage entfernt, nicht mehr dahin zurückkehrt, sondern mehrere Grade davon, gleichgültig nach welcher Seite, zur Ruhe kommt. Die Nadel hat dann drei Gleichgewichtslagen. Dies rührt von dem Eisengehalte auch des besten käuflichen Kupferdrathes her, und man kann dem Uebelstande nur dadurch abhelfen, dafs man eine der beiden Nadeln neu magnetisirt, der Doppelnadel also eine gröfsere Richtkraft giebt.

Digitized by Google

511 Der Multiplicator mit der einfachen compensirten Nadel oder mit der Doppelnadel ist bei Versuchen mit den Entladungsströmen ein mangelhaftes Instrument, das ohne häufige Nachbesserung nicht brauchbar zu erhalten ist, und zu messenden Versuchen nicht angewendet werden kann. Hierzu kann allein der Multiplicator mit Einer Magnetnadel ohne Compensation gebraucht werden. Die Kleinheit der Ablenkung dieser Nadel ist kein wesentliches Hindernifs, da Poggendorff gelehrt hat, jede Ablenkung mit gewünschter Genauigkeit zu messen [1]). Es wird an dem oberen Ende des Bügels, der die Nadel trägt, ein kleiner Spiegel vertical befestigt (Fig. 104.), ein Fernrohr aus einiger Entfernung auf den Spiegel gerichtet, und durch dasselbe das Bild einer Scale betrachtet, die horizontal unter dem Fernrohre und normal gegen seine optische Axe befestigt ist. Aus der Verrückung des Bildes ist die Ablenkung der Nadel leicht zu berechnen. Da die Nadel die Last des Spiegels zu drehen hat, so mufs sie, um nicht allzu träge zu werden, von gröfseren Dimensionen, als oben angegeben ist, genommen, und möglichst stark magnetisirt werden. Eine Länge der Nadel von 3 Zoll bei einem Durchmesser von 1 Lin., wenn sie cylindrisch ist, oder einer Breite von 2 Lin., wenn sie aus einer Uhrfeder besteht, genügen dazu. Ein Haupterfordernifs zur Ausführung der Messung, die durch jede Erschütterung gestört wird, ist die feste Aufstellung des Multiplicators und des Fernrohres mit der Scale. Am besten geschieht diese auf Steinpfeilern, die vom Grunde aus frei durch das Gebälk des Hauses hindurchgehen. Hat die Nadel ihre Lage im Meridiane eingenommen, so stellt man ihr die Drathwindungen parallel, und richtet das Fernrohr in einer auf dem Spiegel normalen Ebene auf den Spiegel. Das Fernrohr mufs höher liegen, als der Mittelpunkt des Spiegels, damit der Nullpunkt der Scale, der durch ein am Objective befestigtes Bleiloth gegeben wird, am Fadenkreuze des etwas gesenkten Fernrohres gesehen wird. Mit der Entfernung des Fernrohres vom Spiegel nimmt die Genauigkeit zu, mit der die Ablenkung beobachtet wird, doch wird sie

[1]) Poggend. Ann.* 7. 121.

Digitized by Google

beschränkt durch die Feinheit der Scalentheile und die Schwie- [511]
rigkeit, diese hinlänglich zu beleuchten. Die Magnetnadel mufs hier sorgfältig vor Luftströmungen geschützt sein, weshalb man den ganzen Multiplicator mit einem luftdichten Gehäuse umgiebt, das indefs nur an der Stelle des Spiegels aus Glas zu bestehen braucht. Die folgende Betrachtung zeigt, dafs die Verrückungen des Scalenbildes den Ablenkungen der Magnetnadel proportional sind, und lehrt, diese auf ihren Winkelwerth zu bringen, wozu übrigens die Veranlassung selten gegeben ist.

Man denke sich das Fernrohr F (Fig. 103.) und die Scale 512
S in einer Horizontalebene, und die optische Axe des Fernrohres durch den Nullpunkt der darauf normal stehenden Scale gezogen. Steht der Spiegel gleichfalls normal gegen die optische Axe, so wird im Fernrohre der Nullpunkt gesehen. Es sei nun der Spiegel um eine verticale Axe um den Winkel $abc = e$ gedreht, so erscheint der Punkt d der Scale im Fernrohre, wenn $abc = cbd$. In der beliebigen Längeneinheit, mit welcher die Scale getheilt ist, sei das Stück ad der Scale $= s$, die Entfernung $ab = h$, so ist tang. $2e = \frac{s}{h}$, oder da hier nur kleine Winkel vorkommen, $e = \frac{s}{2h}$. Dies ist in Theilen des Halbmessers die Gröfse des Bogens, um den der Spiegel und die mit ihm verbundene Magnetnadel gedreht worden ist. $\frac{1}{2h}$ ist der Werth der Einheit der Scale, in welcher die Ablenkung abgelesen wird. Um diesen Werth in Theile der gebräuchlichen Kreistheilung, zum Beispiel in Minuten, zu verwandeln, hat man sich zu erinnern, dafs die Länge eines Bogens von 180 . 60 Minuten 3,1416 Halbmesser beträgt. Es ist daher die Einheit der Scale $\frac{1718{,}9}{h}$ Minuten (log. $1718{,}9 = 3{,}23524$) und die Ablenkung der Magnetnadel

$$e = \frac{1718{,}9}{h} \,.\, s \text{ Minuten},$$

wo h den Horizontalabstand der Scale vom Spiegel, s die Verrückung des Scalenbildes, beides in Scalentheilen gemessen, bedeutet. Ist die Scale in $\frac{1}{4}$ Linien getheilt, so mufs der Abstand der Scale vom Spiegel 1718,9 Lin. oder nahe 12 Fufs

Digitized by Google

[512] betragen, damit die Ablenkung bis auf $\frac{1}{2}$ Minute genau abgelesen werden könne. Eine solche Schärfe ist zu allen Versuchen genügend, und in dieser Entfernung können die Theilstriche einer auf Papier gezeichneten Scale durch ein gewöhnliches Theodolithenfernrohr hinlänglich scharf erkannt werden.

513 Die folgenden Versuche wurden von mir an dem in §. 507 beschriebenen Multiplicator und einer Doppelnadel angestellt [1]). Der Nadel, die auf einer von 2 zu 2 Graden getheilten Karte spielte, war eine bedeutende Richtkraft gelassen, wie man aus der bemerkten kurzen Schwingungsdauer ersieht. Die Enden des Multiplicators waren zwischen dem Stative des Kupferstreifens und dem allgemeinen Auslader (§. 366.) eingeschaltet, während zwischen den Armen des Ausladers ein feuchter Leiter angebracht war. Dieser bestand aus 13,68 Gramm Wasser, das in eine Glasröhre von 9 Zoll Länge, 4 Lin. Weite eingeschlossen war, oder aus einer Salmiaklösung von 1,02 spec. Gewicht in derselben Röhre, oder aus einem 16 Zoll langen mit destillirtem Wasser befeuchteten Baumwollenfaden, oder endlich aus einem 2 Zoll langen, 1 Zoll dicken Lindenholzcylinder, der mehrere Tage in Brunnenwasser gelegen hatte. Es wurde sorgfältig darauf gesehen, dafs im Schliefsungsbogen alle Verbindungen innig waren, da die kleinste Unterbrechung durch Luft die Resultate wesentlich änderte. Kam die Doppelnadel nach einer Ablenkung nicht wieder auf Null zurück (durch veränderten Magnetismus einer Nadel), so wurde sie neu magnetisirt. Die Kugeln der Maafsflasche standen $\frac{1}{2}$ Lin. von einander, die Batterie war die in §. 363 beschriebene, an der die Anzahl der Flaschen leicht zu ändern war.

1 Schwingung der Nadel 6,8 Sekunden.

Einschaltung.	Flaschenzahl..	Elektr.-Menge.	Ablenkung.	
Wasser	7	18	32 Grad	
	2	18	31	
	7	18	31	
Salmiaklösung	7	18	21	Funke zwischen den Windungen d. Multiplicators.

[1]) Poggend. Ann.* 67. 535.

Digitized by Google

1 Schwingung der Nadel 10 Sekunden. [513]

Einschaltung.	Flaschenzahl.	Elektr.-Menge.	Ablenkung.	
Wasser	7	10	27	Grad
	—	—	27	
	1	10	27	
	—	—	27	
Baumwollenfaden	1	10	27	
	7	10	27	
Salmiaklösung	7	10	30	Die Nadel kehrt nicht zurück u. gebraucht zu 1 Oscill. 13″,8.

1 Schwingung 6,2 Sekunden.

Salmiaklösung	7	8	13	
	—	—	13	
	—	—	14	
Wasser	7	8	13	
	1	8	14	
Holzcylinder	7	8	14	
	—	—	14	
	1	8	12	Funke zwischen d. Windungen.

Bei diesen Versuchen hat man sich vor einer Täuschung 514
zu hüten, die besonders leicht eintritt, wenn man stärkere Ladungen anwendet. Es geht alsdann nämlich oft Elektricität auf das Seidengespinnst der Drathwindungen über, die durch den Drath nicht entladen wird, und die Nadel, wie jeden anderen leichtbeweglichen Körper, durch elektroskopische Wirkung anzieht. Diese Art der Ablenkung erkennt man an einer hüpfenden Bewegung der Nadel, und ich habe sie vergebens durch eine Nebenleitung zu verhindern gesucht. Ein anderes Mifslingen des Versuches, das oben erwähnt und hier vorgekommen ist, tritt dadurch ein, dafs die Entladung nicht allein durch den Drath, sondern auch von einer Windung zur andern durch die Seide der Umspinnung stattfindet. Diese Entladung ist häufig von einem Knistern, oft auch von dem Erscheinen eines Funkens im Multiplicator begleitet, und ändert unfehlbar den Magnetismus der Doppelnadel, so dafs diese nicht mehr zu ihrer anfänglichen Lage zurückkehrt. Wie die Tafel zeigt, trat dieser Fall selbst bei verhältnifsmäfsig schwachen Ladungen ein, wenn der Holzcylinder oder die Salmiaklösung sich im Schliefsungsbogen befand, und machte jedesmal eine neue Aufstellung des Multiplicators nöthig. Bei Einschaltung

Digitized by Google

[514] von Wasser trat diese Störung erst bei bedeutend gröfseren Ladungen ein. So beschränkt diese Versuche auch sein mufsten, so sieht man doch deutlich, dafs bei ihnen die Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie und die Beschaffenheit des Zwischenleiters im Schliefsungsbogen keinen Einflufs auf die Ablenkung der Magnetnadel äufserten. Die Dichtigkeit ist von dem 1 bis 7fachen, die Verzögerungskraft des Zwischenleiters in gröfserem Verhältnisse gesteigert worden (durch Anwendung des Baumwollenfadens und der Wassersäule) ohne dafs eine wesentliche Aenderung der Ablenkung erfolgte.

515 Die Mehrzahl der beigebrachten Versuche, so roh sie sind, deutet auf folgende Abhängigkeit des Magnetismus im Schliefsungsbogen von den mefsbaren Bedingungen des Entladungsstromes. Die Ablenkung e der Nadel erscheint unabhängig von der Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie und von der Beschaffenheit des Schliefsungsbogens, ist dagegen abhängig von der Elektricitätsmenge. Der Ausdruck für e enthält also weder die Flaschenzahl der Batterie, noch den Verzögerungswerth des Schliefsungsbogens. Es ist, nach Analogie zu schliefsen, wahrscheinlich, dafs die Sehne des Ausschlagswinkels e proportional der angewandten Elektricitätsmenge ist, wenn auch der einzige darüber angestellte Versuch (§. 505.) nicht zum Beweise dieser Annahme ausreicht. Wir hätten hiernach, wenn q die Elektricitätsmenge der Batterie bedeutet,

$$\text{chord.}\, e = a\, q$$

Setzen wir diesen Werth von e in die Formel des §. 499 ein, so erhalten wir für den Magnetismus M des Schliefsungsbogens den Ausdruck

$$M = \frac{a\, q}{Z}$$

oder, wenn für die Entladungszeit Z der aus den Wärmeversuchen hergeleitete Werth (§. 436.) gesetzt wird,

$$M = \frac{a}{1 + b\, V} \cdot \frac{q}{s}$$

wo s die Flaschenzahl der Batterie, V den Verzögerungswerth des veränderlichen Theils des Schliefsungsbogens bedeutet. ***Die Stärke des durch die Batterieentladung im Schliefsungsbogen erregten Magnetismus ist proportional der Dichtigkeit der Elek-***

Digitized by Google

tricität in der Batterie, umgekehrt proportional dem Verzögerungswerthe des Schliefsungsbogens. Die Richtung des Magnetismus ist nach der elektromagnetischen Regel (§. 502.) *von der Richtung des Entladungsstromes abhängig.* [515]

Für s kann in die Formel der entsprechende Werth $\frac{q}{y}$ gesetzt werden (§. 436.), wo y die Dichtigkeit der Elektricitätsmenge q in der Batterie bezeichnet. Es ist demnach 516

$$M = \frac{aq}{(1+bV)\frac{q}{y}}$$

Wird die einfache oder $n$fache Elektricitätsmenge bei constanter Dichtigkeit aus einer Batterie entladen, so ist also der Magnetismus im Schliefsungsbogen derselbe, nur wird er im zweiten Falle eine $n$fache Zeit hindurch währen. Wird dagegen die Dichtigkeit einer constanten Elektricitätsmenge von 1 auf n gebracht, so ist der Magnetismus im zweiten Falle $n$mal stärker, die Zeit seines Bestehens aber $n$mal kleiner, als zuvor. Ebenso verhält es sich mit dem Verzögerungswerthe des in den Schliefsungsbogen eingeschalteten Leiters. Je unvollkommener die Einschaltung leitet, desto schwächer wird der Magnetismus des Schliefsungsbogens sein, aber in gleichem Verhältnisse wird die Zeit vergröfsert, in welcher der Bogen magnetisch bleibt. Beobachtet man also eine Wirkung des magnetisirten Schliefsungsbogens, bei der die Stärke der Einwirkung nicht durch ihre Dauer ersetzt werden kann, so mufs der Erfolg der Wirkung nach Elektricitätsmenge, Dichtigkeit und Beschaffenheit des Schliefsungsbogens verschieden sein. Dies zeigt sich in der That auf das Bestimmteste bei der Magnetisirung von Stahlnadeln, zu der wir jetzt fortgehen.

Magnetisirung von Stahlnadeln durch den Schliefsungsbogen der Batterie.

In den *philosophical transactions* für 1676 [1]) wird ein Fall mitgetheilt, der seitdem öfter beobachtet worden ist. 517

[1]) *Philos. transact. abridg.** 2. 309 (*philosophical transactions abridged by Hutton, Shaw, Pearson* 18 *vol.* 4*to Lond.* 1809).

Digitized by Google

[517] Nach einem Blitzschlage, der auf ein Schiff gefallen war, wies das bezeichnete Ende des Compasses nicht mehr nach Norden, sondern nach Süden. Die Magnetnadel war durch den Blitz neu magnetisirt worden. Es konnte daher nicht auffallen, dafs unmagnetischer Stahl durch den Blitz in einen Magnet verwandelt wurde. So schlug der Blitz 1731 in einen Kasten, in dem sich stählerne Messer und Gabeln befanden, die dadurch so stark magnetisch wurden, dafs sie kleine Nägel anzogen [1]). Als Franklin die elektrische Natur des Blitzes aufzeigte, war er bemüht, Stahlnadeln dadurch zu magnetisiren, dafs er den Entladungsschlag einer Batterie durch sie leitete. Der Versuch gelang ihm [2]), aber mit Erfolgen in Betreff der Richtung des ertheilten Magnetismus, die ihn wieder bedenklich machten. Lag die der Entladung ausgesetzte Stahlnadel von Ost nach West, so schien die Richtung des Magnetismus von der Richtung der Entladung abhängig, nicht aber, wenn die Nadel von Nord nach Süd lag. Das nach Norden liegende Ende der Nadel zeigte dann bei freier Beweglichkeit nach Norden, die Entladung mochte die eine oder die andere Richtung gehabt haben. Hiernach blieb es räthselhaft, dafs die freischwebende Compafsnadel des Schiffes durch den Blitz in entgegengesetzter Richtung magnetisirt worden war. Wilcke, d'Alibard und Beccaria wiederholten diese Versuche mit einander widersprechenden Resultaten. Wilcke erkannte zwar den Einfluſs der Lage der Nadel und brachte den anschaulichen Versuch bei [3]), in welchem eine Nadel, der ein Magnet parallel nahegelegt war, durch den Entladungsschlag so magnetisirt wurde, als ob der Magnet sie berührt hätte, allein er schrieb noch aufser dieser Wirkung dem Entladungsstrome eine unmittelbar magnetisirende Eigenschaft zu, nach welcher das Ende der Nadel, wo sie der Strom verläfst, nach Norden weisen würde. Aber Van Marum zeigte, dafs man sich auf falschem Wege befand, dafs die elektrische Entladung in diesen Versuchen nicht unmittelbar magnetisire, sondern überall mittelbar durch die Erschütterung, die sie der Nadel giebt [4]).

[1]) *Philosoph. transact.* 1732. *No.* 437. — *abridg.* 8. 25. Reimarus v. Blitze 66. [2]) *Exper. and observ.* 91. [3]) Abhandl. d. schwed. Akad. übersetzt v. Kästner 1766. 315. [4]) Beschreibung einer grofsen Elektrisirmaschine 1786. 36.

Digitized by Google

Es war nämlich schon durch Du Fay bekannt, dafs eine mit [517]
einem Hammer geschlagene Stahlnadel Magnetismus annimmt, dessen Richtung von der Lage der Nadel gegen die Resultante des Erdmagnetismus bestimmt wird. Liegt die Nadel winkelrecht gegen diese Resultante, z. B. in der Horizontalebene von Ost nach West, so wird sie nicht magnetisch, weder durch einen Hammerschlag, noch durch den Entladungsschlag der elektrischen Batterie. — Erst in neuerer Zeit ist die unmittelbar magnetisirende Kraft des Schliefsungsbogens der Batterie entdeckt worden. Kurze Zeit nach der Entdeckung des Magnetismus der galvanischen Kette zeigte Arago im Moniteur (10. November 1820) an, dafs er Stahlnadeln magnetisirt habe in Glasröhren, um die ein Drath schraubenförmig gelegt war, durch welchen er elektrische Funken gehen liefs, und zwei Tage später machte Davy ausführliche Versuche über diesen Gegenstand bekannt [1]).

Davy entlud eine elektrische Batterie von 17 Quadrat- 518
Fufs Belegung durch einen gerade ausgespannten Silberdrath von $\frac{1}{20}$ Zoll Dicke, unter welchem Stahlstäbe, 2 Zoll lang, $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{10}$ Zoll dick, lagen, die mit dem Drathe einen rechten Winkel bildeten. Die Stahlstäbe wurden nach der Entladung so stark magnetisch gefunden, dafs sie kleine Eisendräthe anzogen. Die Magnetisirung erfolgte noch, als die Stäbe 5, ja selbst 14 Zoll vom Schliefsungsbogen entfernt lagen oder von ihm durch Wasser, Glasplatten oder isolirte Metallplatten getrennt waren. Mit dem Schliefsungsdrathe parallel liegende Stahlstäbe wurden nicht magnetisch. Nach späteren Versuchen von Hill [2]) nimmt die Magnetisirung einer Nadel, bei zunehmendem Winkel, den sie mit dem Schliefsungsdrathe bildet, anfangs schnell und später sehr langsam zu, so dafs auf ihre genau normale Lage gegen den Drath kein Gewicht zu legen ist. Die Richtung des Magnetismus der Stäbe fand Davy abhängig von der Richtung der elektrischen Entladung. Auf einer aus Pappe geschnittenen Kreisscheibe von $2\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser wurden 6 kurze Stahlnadeln nahe bei einander

[1]) Gilbert Annalen* 71. 232.
[2]) Schweigger Journ. d. Chemie* 34. 308.

Digitized by Google

[518] befestigt, so dafs sie, ohne einander zu berühren, die Seiten eines in den Kreis eingeschriebenen Sechsecks bildeten. Durch den Mittelpunkt der Scheibe, normal gegen ihre Ebene, wurde ein Drath gesteckt, der die Scheibe horizontal hielt, und durch welchen die Batterie entladen wurde. Alle 6 Nadeln wurden hierdurch magnetisch und zwar so, dafs die ungleichnamigen Pole von je zwei einander nächsten Nadeln bei einander lagen. Die Lage der Pole der einzelnen Nadeln war so, wie sie durch den Entladungsstrom gegeben worden wäre, wenn die Nadeln vorher magnetisirt und frei beweglich gemacht worden wären. Stellt *c* in Fig. 103 den Querschnitt des Schliefsungsdrathes dar, das Papier die Ebene der Pappscheibe, und würde das obere Ende des Drathes mit der positiv geladenen Fläche der Batterie verbunden, so würden je zwei diametrale Nadeln so magnetisirt worden sein, wie es die Zeichnung angiebt. Wir wollen diese, der elektromagnetischen Regel entsprechende, Magnetisirung der Nadeln die *normale* nennen. Hiernach sind die folgenden Versuche erklärlich. Davy legte zwei flache Nadeln zusammen, so dafs sie eine Nadel von doppelter Dicke bildeten, und liefs den Schliefsungsdrath normal gegen die Länge der Nadel durch ihren Mittelpunkt gehen. Nach der Entladung zeigten die verbundenen Nadeln wenig oder keinen Magnetismus, aber, als sie auseinander genommen waren, *deutliche* magnetische Pole in entgegengesetzter Lage. Später ist dieser Versuch von Erman[1]) und v. Beek[2]) so abgeändert worden, dafs man eine in der Mitte durchbohrte Stahlscheibe auf den Schliefsungsbogen schob, und die Entladung vollführte. Die Scheibe erschien unmagnetisch; als man sie aber irgendwo in der Richtung des Durchmessers zerschnitt, war jede Hälfte magnetisch, und zwar mit der regelrechten Vertheilung der Pole. La Borne legte einen harten Eisendrath um eine Glasröhre, durch die ein gerader Drath gesteckt war, und entlud mit diesem eine leydener Flasche. Die Spirale erhielt an ihren Enden magnetische Pole, die bei dem Auseinanderziehen der Spirale nicht verändert wurden[3]).

[1]) Schweigger Journal* 37. 24.
[2]) Gilbert Annalen* B. 72. S. 24. 27.
[3]) *Annales de chim. et de phys.* 16. 194.

Digitized by Google

Zur Magnetisirung von Nadeln ist eine momentane Entladung nöthig; verzögert man diese durch Einschaltung von Wasser, Säuren oder Elfenbein in den Schliefsungsbogen, wie es früher zur Ablenkung der Magnetnadel erfordert wurde, so erfolgt keine Magnetisirung. Als Davy die Entladung durch einen Luftzwischenraum gehen liefs, erhielt eine gegen diesen normal gelegte Nadel einen schwachen Magnetismus. Von dem Schliefsungsdrathe wirkt nur ein kleines Stück auf die Nadel, wenn er gerade ausgespannt ist; um die Einwirkung zu vergröfsern, mufs man den Drath schraubenförmig aufwinden, und dann die Nadel in die Axe der Schraube bringen. Die elektromagnetische Regel zeigt, dafs jeder Theil einer Windung, die hier die Nadel umgiebt, auf die Nadel in gleichem Sinne magnetisirend wirken mufs. Davy legte den Schliefsungsdrath seiner Batterie schraubenförmig um eine Glasröhre, und magnetisirte durch die Entladung die in der Röhre liegende Stahlnadel. Die Richtung des Magnetismus hängt nicht nur von der Richtung der Entladung ab, sondern auch von dem Sinne, in dem die Drathschraube gewunden ist. Man unterscheidet rechts- und linksgewundene Schrauben; besser, als durch eine Beschreibung, werden diese durch das Merkmal unterschieden, dafs die rechtsgewundenen dem Korkzieher gleichen. Eine Nadel in einer rechtsgewundenen Drathschraube wird durch dieselbe Batterieentladung in entgegengesetztem Sinne magnetisirt, wie eine Nadel in einer linksgewundenen; der Anblick dieser Schrauben zeigt, dafs dies der Regel entspricht. Böckmann[1]) legte einen Schliefsungsdrath um die eine Hälfte einer Glasröhre in einer rechts-, um die andere Hälfte in einer links-gewundenen Schraube. Eine Stahlnadel von der Länge der Glasröhre erhielt an jedem Ende einen Nordpol, in der Mitte einen Südpol. Statt der Glasröhre konnte eine Röhre aus Blei angewendet, und die Nadel von Wachstaft, Seide, Holz, Elfenbein, Papier umhüllt sein. In einer Eisenröhre wurde die Nadel nicht magnetisch; nach Savary, auch in Zinn eingehüllt nicht, wenn das Metall eine gewisse Dicke überschreitet. Durch eine Drath- 519

[1]) Gilbert Annalen* 68. 12.

Digitized by Google

[519] schraube werden die Nadeln noch in grofser Entfernung magnetisch. So fertigte Böckmann eine Drathschraube von 34 Zoll Durchmesser und konnte in ihrer Axe, also 17 Zoll vom Drathe entfernt, einer Nadel einen kräftigen Magnetismus ertheilen.

520 Die Magnetisirung durch den Schliefsungsbogen, durch die vorhergehenden Versuche im Allgemeinen festgestellt, ist von Savary[1]) nach ihren näheren Bedingungen untersucht worden, und fand sich nicht allein von den Bedingungen des Entladungsstromes, sondern auch von Umständen abhängig, die für die elektrische Seite der Erscheinung ohne Bedeutung sind. Hieher gehört zuerst die absolute Entfernung der Nadel vom Schliefsungsbogen, die auf Stärke und Richtung des erregten Magnetismus von dem wesentlichsten Einflusse ist. Die Stärke des Magnetismus einer Nadel wird durch die Zeit bestimmt, welche die Nadel zu einer constanten Zahl von Schwingungen gebraucht (§. 498.). Sie ist dem Quadrate dieser Zeit umgekehrt proportional; da es aber in dem Folgenden nur auf ein Mehr oder Weniger von Magnetismus ankommt, so werde ich mich mit Angabe der einfachen Schwingungsdauer begnügen. Savary spannte einen Platindrath von $\frac{1}{4}$ Millimeter Dicke, 1 Meter Länge, über einer Holzleiste gerade aus. Auf einer anderen Holzleiste wurde eine Anzahl glasharter Stahlnadeln (15 Mm. lang, $\frac{1}{4}$ Mm. dick) in der Quere befestigt, je zwei Nadeln 20 Mm. von einander entfernt, und diese Leiste gegen den Platindrath unter einem sehr spitzen Winkel geneigt. Die erste Nadel kam dadurch mit dem Drathe in Berührung, jede der übrigen war von ihm mehr und mehr entfernt. Durch die Entladung einer Batterie von 22 Quadr.-F. Belegung, die mittels des Platindrathes entladen wurde, wurden alle Nadeln magnetisch, aber in sehr verschiedener Stärke und mit verschiedener Richtung des Magnetismus. Wir wollen hier, wie früher, *normal* eine Magnetisirung nennen, die der elektromagnetischen Regel entspricht, und mit dem Zeichen + andeuten, das der Schwingungsdauer der Nadel vorgesetzt wird; die entgegengesetzte Lage der Pole aber mit — bezeichnen.

[1]) *Annales de chim. et de phys.* 34. 30.

Digitized by Google

Platindrath 1 Meter lang, 0,25 Mm. dick. 521

Entfernung d. Nadel v. Drathe.	Dauer von 60 Schwing. Sekunden Richtung d. Magnet.
0,0 Millimeter.	+ 63,1
1,1	− 149
2	unmagnetisch.
3	+ 85.6
4,3	+ 65,6
5,5	+ 63 *
6,7	+ 73,6
8	+ 92,2
8.6	− 188
9,6	− 94.8
10.5	− 77.2
12,3	− 61.2
13.5	− 56,4
14.6	− 56,0*
15.7	− 59,4
16,9	− 63,0
18.2	− 65.0
19.1	− 76.8
20	− 94.2
20,9	− 149
21.4	unmagnetisch.
23,3	+ 83.7
32.7	+ 41,4
44	+ 34,0*
70	+ 43,2
100	+ 62,2
130	+ 88,2

Wir sehen hier ein und dieselbe Entladung verschieden 522
gerichteten Magnetismus erregen, so dafs 12 Nadeln der Regel gemäfs, 13 ihr widersprechend, magnetisirt wurden. Diese verschiedene Magnetisirung tritt Gruppenweise auf, indem für eine Anzahl auf einander folgender Entfernungen die Nadeln in gleichem Sinne magnetisirt werden (z. B. von 8,6 bis 20,9 Mm. Entfernung). Aber innerhalb jeder Gruppe tritt der merkwürdige Umstand ein, dafs die Stärke des Magnetismus zuerst mit wachsender Entfernung steigt, dann abnimmt. So sehen wir von 8,6 bis 14,6 Mm. Zunahme, von dort bis 20,9 Mm. Abnahme des Magnetismus. Dies periodische Steigen und Fallen der Stärke bildet das wesentliche und allgemeine Merkmal der Erscheinung, während die Aenderung der magnetischen

Digitized by Google

[522] Richtung von einer Gruppe zur andern nur secundär hinzutritt und auch fehlen darf. Wir haben in der vorliegenden Reihe 5 Gruppen von sehr verschiedener Ausdehnung. Die ersten beiden Gruppen sind nicht gehörig charakterisirt, da jede nur durch 1 Beobachtung bezeichnet wird; sie haben eine Ausdehnung von ungefähr 1 Mm., die dritte eine solche von 6, die vierte von 12, die fünfte von mehr als 109 Mm. Es ist übrigens gleichgültig, über welcher Stelle des Platindrathes die Nadeln liegen, wie denn hier, da Savary sich mehrerer geneigten Leisten zur Befestigung der Nadeln bediente, die gröfseren Entfernungen nicht an dem Ende des Drathes genommen worden sind. Die Maxima (mit einem Asterisk bezeichnet) der 3 letzten Gruppen lagen 5,5 14,6 und 44 Mm. vom Drathe entfernt, die letzte Entfernung gab die absolut stärkste Magnetisirung. Die Ausdehnung der Gruppen wurde nicht wesentlich geändert, als kürzere Nadeln (von 5 und 10 Mm. Länge) angewendet wurden, hängt aber, wie wir weiter unten sehen werden, von der Dicke der Nadeln und dem Grade ihrer Härtung wesentlich ab.

523 An jedem continuirlichen, wenn auch ungleich dicken Stücke eines Schliefsungsbogens findet nahe dieselbe Magnetisirung statt. Savary verband Ende an Ende drei Messingdräthe von 1 Meter Länge und verschiedenen Dicken, die sich wie 1, 3, 6 verhielten (0,125 Mm. der dünnste). Ueber jedem Drathe in einiger Entfernung von den Verbindungsstellen wurde eine geneigte Leiste mit Stahlnadeln befestigt. Durch eine bestimmte Entladung erhielt jede Nadelreihe Magnetisirungen in 3 Gruppen von gleicher Ausdehnung; die zweite Gruppe fing in einer Höhe von 3 bis 4, die dritte von 13 bis 14 Mm. über dem Drathe an. Die über jedem Drathe am stärksten magnetisirte Nadel brauchte 36 Sekunden zu 60 Schwingungen. Die Nadeln erhielten auch denselben Magnetismus, als einige von ihnen in Glasröhren eingeschlossen waren, die anderen frei lagen. — Um den Einfluss der Härtung der Nadeln auf ihre Magnetisirung zu zeigen, wurden über einem Messingdrath von $\frac{1}{8}$ Mm. Dicke zwei Leisten mit Nadeln von 15 Mm. Länge, 0,3 Mm. Dicke angebracht. Die Nadeln waren aus demselben Stahldrathe verfertigt, die eine Reihe der

Digitized by Google

Nadeln glashart gehärtet, die andere weich gelassen. Sie wur- [523]
den durch eine Entladung folgendermafsen magnetisirt.

Erste Reihe: glasharte Nadeln. 524

Entfernung d. Nadel vom Schliefsungsdrathe.	Dauer von 60 Osc. Sekunden Richtung.
0,6 Millimeter.	+ 82,8
1,6	+ 73,4*
2,6	+ 80
3,9	+ 134,5
4,9	— 102
6,3	— 73,6
7,6	— 65,8
9,8	— 65,6
10,8	— 60,8*
12,4	— 95,4
14,8	+ 134,4
45	+ 42,2

Zweite Reihe: ungehärtete biegsame Nadeln.

0,0	+ 118,5
1,2	+ 230,0
2,4	+ 109,5
3,8	+ 78,0
5,3	+ 61,2
6,3	+ 56,4
7,3	+ 51,6
9,4	+ 50,2
10,3	+ 48,4
12,8	+ 46,8*
15,4	+ 47,2
42,0	+ 70,6

Beide Magnetisirungsreihen, obgleich durch einen gleichen Entladungsstrom erzeugt, sind durchaus verschieden. Die Reihe der glasharten Nadeln zeigt drei, auch durch die Richtung des Magnetismus geschiedene Gruppen, den Anfang der zweiten bei 4,9, den der dritten bei 14,8 Mm. Entfernung. Die Reihe der weichen Nadeln hat, bis zu derselben Entfernung wie jene betrachtet, nur zwei, durch verschiedene Stärke des Magnetismus angedeutete, Gruppen, von welchen die erste nicht viel über 1 Mm. reicht, die zweite bei 42 Mm. noch nicht ihr Ende erreicht hat. Bei gleicher Entfernung ist in beiden Reihen die Stärke, oft auch die Richtung des ertheilten Ma-

Digitized by Google

[524] gnetismus verschieden. Die stärkste Magnetisirung findet unter den glasharten Nadeln bei 10,8 Mm. Entfernung mit anomaler Richtung, unter den weichen bei 12,8 Mm. mit normaler Richtung statt.

525 Der grofse Einfluſs, den der Grad der Härtung der Nadeln auf ihre Magnetisirung hat, hindert, den Einfluſs ihrer Dicke rein zu erhalten, da Nadeln verschiedener Dicke niemals in allen Schichten gleich gehärtet sein können. Savary begnügte sich daher, die folgenden Versuche mit drei Nadelsorten von 15 Mm. Länge mitzutheilen, die über einem Schliefsungsdrath angebracht waren.

Entfernung der Axe	Dauer von 60 Schwingungen.		
der Nadel vom Schliefsungsdrath.	Nadeldicke 0,3	0,8	1,75 Mm.
0,8 Mm.	+70″	+120″	+ 99
17,0	— 58	+ 59	+106
27,0	+38	+ 63	+117

Man sieht, daſs die Nadeln, in gleichen Entfernungen magnetisirt, ganz verschiedene Perioden befolgen. Die dünnsten Nadeln zeigen deutlich 3 Gruppen, die durch die Richtung charakterisirt sind, die dickeren nur 1 Gruppe, und die dicksten endlich eine einfache Abnahme des Magnetismus mit wachsender Entfernung der Nadel vom Schliefsungsbogen.

526 Um die Bedeutung der vorhergehenden Versuche klarer zu machen, vergleiche man den Magnetismus jeder Nadel einer Reihe, der Richtung und Stärke nach, mit dem Magnetismus einer gleichartigen Nadel, die aber eine bestimmte Lage gegen den Schliefsungsbogen inne hat, z. B. ihn berührt. Es wird der Nadel einer beliebigen Stelle ein veränderter Magnetismus nur dann zukommen, wenn die Gruppen der Magnetisirung eine Aenderung erleiden. Dennoch müssen wir nach den beigebrachten Versuchen behaupten, daſs jede, in eine beliebige Entfernung vom Schliefsungsbogen gestellte, Nadel, je nach ihrer Dicke und dem Grade ihrer Härtung, einen verschiedenen Magnetismus durch die Entladung der Batterie erhält. Ganz dasselbe gilt für eine und dieselbe Nadelsorte, wenn der Entladungsstrom durch die Oberfläche der Batterie, die Elektricitätsmenge oder die Beschaffenheit des Schliefsungs-

Digitized by Google

bogens geändert wird. Nicht allein, dafs die absolute Stärke [526]
und oft auch die Richtung der in verschiedene Entfernung gestellten Nadeln verändert werden, so wird auch das Verhältnifs des Magnetismus jeder Nadel zu dem einer constant gelegenen Nadel ein anderes. Diese Wandelbarkeit der Erscheinung giebt allen Magnetisirungsversuchen einen ganz speciellen Charakter. Die obigen Versuche haben uns nicht die Gruppen der Magnetisirung für die bezeichneten Nadeln im Allgemeinen kennen gelehrt, sondern nur in Betreff der angewandten Batterie, ihrer Ladung und der Beschaffenheit des Schliefsungsbogens. Savary hat dies durch folgende Versuche gezeigt.

Es wurde dieselbe Nadelsorte wie in den Versuchen §. 521 527
angewendet, auch Batterie und Ladung ungeändert gelassen, dagegen der in dem Schliefsungsbogen befindliche Platindrath, über dem die Nadeln in verschiedener Höhe lagen, bis 2 Meter verlängert.

Platindrath 0,25 Mm. dick, 2 Meter lang.

Entfernung d. Nadel vom Drathe.	Dauer von 60 Schwingungen. magn. Richtung.
0,0 Millimeter.	+ 52″,4
1.2	+ 63 ,8
2.5	— 72 ,8
3,7	— 44 ,6
5	— 40 ″
6	— 41 ,8
7.4	— 44 ,8
8,5	— 58 ,8
9,7	— 80 ,1
10,9	+ 112
11,8	+ 78 ,6
12,5	+ 61
13.8	+ 49 ,6
16,3	+ 38 ,2
18,7	+ 33 ,8
21,0	+ 31 ,3
23,8	+ 29 ,5″
28,5	+ 30 ,8
34	+ 29 ,8
46	+ 35 ,9
70,0	+ 55 ,6
100	+ 87 ,6
130	+ 108

Digitized by Google

[527] Die Magnetisirung ist hier durchaus verschieden von der bei dem Platindrathe von nur 1 Meter Länge (§. 521.). Statt dafs wir dort fünf Gruppen unterschieden, haben wir hier nur drei, und die stärkste Magnetisirung, die dort in der Entfernung von 44 Mm. erregt wurde, ist hier bei 23,8 Mm. eingetreten.

528 Es wurde nun wieder ein Platindrath von 1 Meter Länge, aber von gröfserer Dicke (0,37 Mm.) als früher angewendet. Hier fand sich eine Aenderung der Richtung des Magnetismus bei 3, 5, 9 und 12 Mm. Höhe, und die stärkste Magnetisirung (60 Oscill. in 56 Sekunden) bei ungefähr 60 Mm. Also wieder eine Vertheilung der Gruppen sehr verschieden von der bei dem gleich langen aber dünneren Drathe §. 521. Mit einem noch dünneren Drathe, gleichfalls von 1 Meter Länge, wurden folgende Magnetisirungen erhalten.

Platindrath 0,125 Mm. dick, 1 Meter lang.

Entfernung d. Nadel vom Drathe.	Dauer von 60 Schwingungen. magn. Richtung.
0,0 Millimeter.	+ 34″,4
1,2	+ 25 ,2
2,6	+ 24 ,1
5	+ 24 ,3
7,1	+ 24 ,0
9,7	+ 23 ,3″
12	+ 23 ,5
15,1	+ 24 ,9
18,5	+ 27 ,0
22,5	+ 25 ,8
28	+ 27
34	+ 30 ,9
45	+ 37 ,6
70	+ 61 ,8
100	+ 97 ,2
130	+120 ,9

Hier hat dieselbe Entladung, wie bei dem dickeren Drathe, nur Eine Gruppe erzeugt, dafür aber ein Maximum des Magnetismus bei 9,7 Mm., welches der Magnetisirung gleich kam, die der Nadel durch die stärksten künstlichen Magnete gegeben werden konnte. Nach Savary's Bemerkung nimmt die Stärke des Magnetismus der einzelnen Nadeln zu mit dem

Digitized by Google

Verhältnisse der Länge zur Dicke des Schliefsungsdrathes; [528]
doch nur bis zu einer Gränze, denn als der zuletzt angewandte
Platindrath 4,3 Meter lang genommen war, erreichte die am
stärksten magnetisirte Nadel nicht mehr den Grad der Sätti-
gung, den sie oben erhalten hatte (sie gebrauchte 26,1 Sekun-
den zu 60 Schwingungen).

Die Vertheilung der Magnetisirungsgruppen wird, wie wir 529
gesehen haben, durch Länge und Dicke des Schliefsungsdrathes
bestimmt. Savary nahm verschieden dicke Dräthe, und glich
sie durch Veränderung ihrer Länge so ab, dafs sie bei glei-
chen Entladungen gleiche Magnetisirungsgruppen gaben. Bei
solchen zwei gleichwirkenden Dräthen war aber nicht, wie
man hätte vermuthen können, das Verhältnifs der Länge zum
Querschnitte constant. Nehmen wir also zwei Dräthe desselben Metalles, den einen von der Länge l, dem Radius r, den andern von der Länge $4l$ und Radius $2r$, und wenden diese Dräthe einzeln zur Entladung einer Batterie an, so werden die Gruppen der durch diese Dräthe magnetisirten Nadeln eine verschiedene Ausdehnung haben. Dies ist sehr bemerkenswerth, da wir nach dem vorigen Kapitel die Entladungsströme in beiden Fällen als vollkommen gleich ansehen müssen und, wie aus der Formel (§. 470.) $W=\frac{a}{\frac{1}{V}+b}$ (wo $V=\frac{xl}{r^2}$) hervorgeht, die in beiden Dräthen durch eine Entladung erregte Wärmemenge genau dieselbe ist.

Auch durch Aenderung der Batterieladung werden die 530
Gruppen der Magnetisirungen gänzlich verändert. Savary
hat diese Aenderung für einzelne Fälle angegeben, indem er
sich auf die oben aufgeführten, mit gleichen Ladungen ange-
stellten drei Versuchsreihen bezieht, die an Dräthen von 1 Meter
Länge und verschiedenen Dicken, die sich wie 3, 2, 1 verhiel-
ten, gefunden worden sind (Dicke 0,25 Mm. §. 521; 0,125
und 0,37. §. 528). Wendete er bei dem dünnsten Drathe
successiv schwächere Ladungen der Batterie an, so sah er
den Magnetismus der am stärksten magnetisirten Nadel ab-
nehmen, aber diese Nadel in immer geringerer Entfernung vom
Schliefsungsdrathe; Aenderungen der Richtung des Magnetis-

Digitized by Google

[530] mus, wie bei den beiden dickeren Dräthen, kamen nicht vor. Wurden bei den beiden dickeren Dräthen die Ladungen der Batterie vermindert, so erhielten die Gruppen der Magnetisirung eine andere Ausdehnung, kamen aber nie denen des dünnen Drathes gleich. Die Aenderungen der magnetischen Richtung verschwanden zwar bald, und man erhielt die Gruppen nur durch Aenderung der magnetischen Stärke bezeichnet, zugleich aber nahm der Werth der stärksten Magnetisirung ab, und fand sich in immer geringerer Höhe über dem Schliefsungsdrathe. Wurden bei den beiden dickeren Dräthen die Ladungen über die bei den angeführten Versuchen gebrauchten gesteigert, so nahm das Maximum der Magnetisirung zu, und entfernte sich dabei von dem Drathe. Die Vertheilung der Gruppen änderte sich wesentlich, ohne indefs mit der bei anderen Dräthen oder Nadeln bemerkten je zusammenzufallen. Die Aenderung der Gruppen mit der Ladung der Batterie giebt zu einer neuen Zusammenstellung der Magnetisirung einer Reihe gleichartiger Nadeln Anlafs.

531 Magnetisirungsgruppen durch verschiedene Ladung. Denken wir uns eine Reihe von Stahlnadeln in zunehmender Entfernung über einem Schliefsungsdrathe, durch den eine Batterie entladen wird, so wissen wir, dafs die Nadeln in Betreff ihrer Magnetisirung in einzelne Gruppen zerfallen, die durch Aenderung der Stärke, oft auch der Richtung des Magnetismus bezeichnet sind. Ist die Batterie in einem folgenden Versuche mit einer gröfseren Elektricitätsmenge geladen gewesen, so werden die Gruppen nach dem Vorhergehenden geändert sein, das heifst, eine jede Gruppe wird mehr oder weniger Nadeln umfassen, die Richtung des Magnetismus bei einer in der Reihe früheren oder späteren Nadel sich ändern. Stellen wir also den Versuch an einer einzigen Nadel der ganzen Reihe an, die in bestimmter Entfernung vom Schliefsungsdrathe steht, so wird diese Nadel, je nach der Ladung der Batterie, diese oder jene Stelle in derselben Gruppe einnehmen, oder zu verschiedenen Gruppen gehören. Die Nadel wird, durch successive, mit steigender Elektricitätsmenge erfolgende, Entladungen magnetisirt, verschiedenen Magnetismus zeigen, der bald steigt, bald abnimmt,

Digitized by Google

oft auch seine Richtung ändert. Man kann diese verschie- [531]
denen Magnetisirungen einer Nadel in constanter Lage wiederum in Gruppen theilen, von welchen jede aus Magnetisirungen besteht, die zuerst mit steigender Ladung zunehmen, dann abnehmen. Häufig tritt bei dem Anfange einer neuen Gruppe, wo also wieder die Magnetisirungen mit steigender Ladung zunehmen, eine Aenderung in der Richtung des Magnetismus ein, die daher schon für sich eine neue Gruppe andeutet.

Die durch gesteigerte Entladungen gebildeten Gruppen 532
der Magnetisirung sind hiernach keine neue Erscheinung, sondern folgen unmittelbar aus der Verschiebung der früher betrachteten Gruppen. Da diese Verschiebung indefs durch die neuen Gruppen nicht weiter charakterisirt wird, so lassen wir die Verbindung zwischen beiden Gruppen fallen und betrachten einfach die Magnetisirung von Nadeln, in constanter Entfernung vom Schliefsungsbogen, durch gesteigerte Ladungen, das heifst, durch einen stärker und stärker magnetisirten Schliefsungsbogen, der aber stets eine gleiche Zeit hindurch magnetisch geblieben ist (§. 516.). — Um die Elektricitätsmenge der Batterie in gröfserem Maafse steigern zu können, mufs man mit einer kleinen Menge anfangen, die einer Nadel, wenn sie über einen gerade ausgespannten Schliefsungsdrath gelegt ist, nur einen geringen Grad von Magnetismus ertheilen würde. Es wird daher das früher (§. 519.) angegebene Mittel angewendet, die Magnetisirung der Nadel zu erhöhen, indem man den Schliefsungsdrath in einiger Länge schraubenförmig aufwindet, und die Nadel in der Axe der Schraube anbringt. Da der stärkste Magnetismus einer Nadel ertheilt wird, die normal gegen den Schliefsungsbogen liegt, so mufs man den Gang der Schraube so kurz als möglich nehmen, alsdann aber durch einen Ueberzug von Seide und Schellack verhüten, dafs die Entladung nicht von einer Windung zur nächsten in der Richtung der Axe erfolge. Die Länge der Schraube ist, nach Savary, für die Magnetisirung gleichgültig, wenn sie das 7 bis 8fache ihres Durchmessers beträgt, und das 2 bis 3fache der Länge der zu magnetisirenden Nadel. Ebenso ist der Durchmesser einer Schraube von

Digitized by Google

[532] kurzem Gange von geringem Einflusse auf die Magnetisirung. Eine zu solchem Gebrauche dienende Drathschraube wird *Magnetisirungsspirale* genannt.

533 Savary legte einen Theil eines (0,8 Meter langen 0,18 Mm. dicken) Messingdrathes schraubenförmig um einen hohlen Holzcylinder von 90 Mm. Länge, 6,5 Mm. Durchmesser, und entlud durch den Drath eine Batterie, die in successiven Versuchen mit immer gröfseren Elektricitätsmengen geladen war. Bei jeder Entladung lag eine gehärtete Stahlnadel, 15 Mm. lang, $\frac{1}{4}$ Mm. dick, in dem Holzcylinder. Folgende Magnetisirungen wurden durch die steigenden Entladungen erhalten. Die Stärke des Magnetismus der Nadel wird, wie früher, durch die Schwingungsdauer gegeben, der ein + oder — vorangesetzt ist, je nachdem die magnetische Richtung der elektromagnetischen Regel (§. 502.) entspricht, oder nicht.

Nadel.	Dauer von 60 Schwingungen. Sekunden magn. Richtung.
1	+ 25″,6
2	+ 56 ,8
3	— 38 ,2
4	— 25 ,5
5	+ 28 ,9
6	+ 27 ,1
7	— 42 ,0
8	— 33 ,1
9	— 57 ,6
10	+ 27 ,8
11	+ 23 ,0″
12	+ 34 ,6
13	— 65 ,0
14	+ 31 ,3

Es sind hier zwischen den Gränzen der angewandten Elektricitätsmengen 7 Gruppen zu unterscheiden, bei welchen die Stärke und Richtung der Magnetisirung geändert war. Auf die Zahl der Gruppen ist übrigens kein Gewicht zu legen, da, wenn die Steigerung der Ladung nicht durch genügend kleine Elektricitätsmengen geschah, leicht Gruppen übersprungen sein können. Die stärkste Magnetisirung, die bis zur Sättigung der Nadel ging, fand bei der 11ten Ladung und zwar mit normaler Richtung statt.

Digitized by Google

Es ist gleichgültig für die Magnetisirung, an welcher 534
Stelle des Schliefsungsbogens die Magnetisirungsspirale angebracht ist, aber von dem gröfsten Einflusse ist die Beschaffenheit des ganzen Schliefsungsbogens. Als Savary den Messingdrath noch einmal so lang nahm, als früher, und seinen aufgewundenen Theil unverändert liefs, erhielt er bei steigenden Ladungen folgende Reihe von Magnetisirungen, zu welchen ich die entsprechenden der vorigen Reihe setze.

	Länge des Schliefsungsdrathes.	
	0,8.	1,6 Meter.
Nadel.	Dauer von 60 Schwingungen.	
1	— 38",2	+25"
2	+28 ,9	— 31 ,9
3	— 42 ,0	+31 ,0
4	— 57 ,6	+25 ,6
5	+23 ,0	+51 ,6
6	+34 ,6	+54 ,6
7	— 65	+46 ,0

Die Steigerung der Ladung war bei den drei letzten Versuchen kleiner, als bei den ersten. Man sieht aus den, gleichen Ladungen entsprechenden, Magnetisirungen, dafs die Verlängerung des Schliefsungsbogens einen verschiedenen Einfluſs auf die Magnetisirung der Nadel ausübt, je nachdem sie bei einer Ladung geringerer oder gröfserer Stärke angewendet wird. Die Verlängerung des Drathes bewirkt (§. 516.) eine Schwächung des Magnetismus der Spirale und eine Vergröfserung seiner Dauer; es folgt also, dafs hier keine Compensirung dieser beiden Momente der Einwirkung stattfindet. Die Dicke und Stahlsorte der Nadel haben auf die Art der Aenderung des Magnetismus mit Verlängerung des Drathes einen wesentlichen Einfluſs, wofür schon oben Beispiele angeführt worden sind. Savary bemerkte bei seinen Nadeln, dafs eine Verlängerung des Schliefsungsdrathes eine immer gröfsere Elektricitätsmenge nöthig machte, um eine Aenderung der Richtung des Magnetismus hervorzubringen, und dafs bei sehr bedeutender Länge die Gruppen sich nur durch die periodische Aenderung der magnetischen Stärke zeigen. Auch die Dichtigkeit der entladenen Elektricitätsmenge war von grofsem Einflusse auf die Magnetisirung, und gab sich in Savary's Versuchen

Digitized by Google

[534] dadurch zu erkennen, dafs die Maxima der Magnetisirung durch vermehrte Dichtigkeit einen geringeren Werth erhielten. Nach der Formel (§. 516.) vermehrt eine gröfsere Dichtigkeit den Magnetismus der Magnetisirungsspirale, vermindert aber die Zeit seines Bestehens.

535 Die Magnetisirung von Nadeln in Drathschrauben ist später auch durch elektrische Ströme bewirkt worden, die nicht unmittelbar von der Batterie ausgehen (Nebenströme), und auf die ich in einem späteren Abschnitte (§. 835 flg.) zurückkommen werde. In Folge der Versuche an dem Nebenstrome sind auch die so eben aufgeführten Savary'schen Versuche am Hauptstrome wieder aufgenommen und erweitert worden. Hankel[1]) benutzte eine Magnetisirungsspirale von 6,53 Mm. Durchmesser, 62 Mm. Länge, die aus einem 0,54 Mm. dicken Silberdrathe gewunden war, und deren Windungen um die Drathdicke von einander entfernt waren. Die Magnetisirung geschah an englischen Nähnadeln von 34,65 Mm. Länge, 0,58 Dicke; die Resultate tragen daher die Eigenthümlichkeit dieser Nadelsorte an sich. Die Ladung der Batterie wurde durch eine Maafsflasche (§. 386.) gemessen, und ihre Steigerung gewöhnlich durch kleine Mengen bewirkt. Der Einfluſs der Dichtigkeit auf die Magnetisirung in dem speciellen Falle, wo ein 12 Meter langer, 0,26 Mm. dicker Eisendrath sich im Schliefsungsbogen befand, zeigte sich in folgenden Versuchen, wo die Batterie aus einer verschiedenen Anzahl von Flaschen zusammengesetzt war.

Flaschenzahl	5	6	7	8	9
Elektricit.-Menge	Dauer von 30 Schwing.	Dauer von 30 Schwing.	Dauer von 30 Schwing.	Dauer von 30 Schwing.	Dauer von 30 Schwing.
5	+ 40 Sek.				+ 29
10	+ 61	+ 49	+ 51	+ 37	+ 34
12	+ 64				
15	+ 50	+ 71	+ 62		+ 107
20	+ 43	+ 312	− 154	+ 98	+ 96
25	+ 50	+ 58		− 72	− 128
30	+ 50	+ 58	− 300	− 61	− 66
35	+ 51		+ 81		− 65

[1]) Poggend. Ann. 69. 321.

[535]

Flaschenzahl	5	6	7	8	9
Elektricit.-Menge	Dauer von 30 Schwing.	Dauer von 30 Schwing.	Dauer von 30 Schwing.	Dauer von 30 Schwing.	Dauer von 30 Schwing.
40	+ 65 Sek.	+ 62	+ 74	— 103	— 64
45	+ 96				— 65
50	+ 122	+ 66	+ 81	— 105	— 106
60		+ 71	+ 112	— 151	— 78
70			+ 77	+ 114	— 117
80				+ 165	— 180
90					— 136

Die Zahl und Lage der Magnetisirungsgruppen treten 536
hier nicht deutlich hervor, da die Steigerung der Elektricitätsmenge zu grofs war, aber man sieht, dafs die Gruppen sich desto weiter ausdehnen, je geringer die Dichtigkeit der entladenen Elektricitätsmenge gewesen ist. Bei 5 und 6 Flaschen kommt noch keine anomale Magnetisirung vor, die bei 9 Flaschen überwiegend wird. Dieselbe Elektricitätsmenge, wenn sie auf einer immer gröfseren Oberfläche angehäuft gewesen, magnetisirte die Nadel stärker oder schwächer, je nach der absoluten Gröfse dieser Menge, aber wenn sie eine Magnetisirung mit anomaler Richtung bewirken sollte, mufste sie sich auf der gröfseren Fläche befunden haben. Begreiflich erleidet dies Resultat bei anderen Nadeln und anderen Schliefsungsbogen Ausnahmen, aber doch trifft es im Allgemeinen zu, dafs man mit einer bestimmten Elektricitätsmenge eine anomale Magnetisirung am leichtesten hervorbringt, wenn jene eine geringe Dichtigkeit besitzt.

Wenn man zwei Stücke des Schliefsungsdrathes einer 537
Batterie zu Schrauben oder flachen Spiralen aufwindet, und die Windungen der beiden Spiralen einander parallel nahe stellt, so ist es, wie wir später sehen werden (§. 857.), für die Erwärmung einer entfernten Stelle des Schliefsungsbogens nicht gleichgültig, mit welchen Enden die Spiralen mit einander verbunden sind, ob sie danach von der Entladung in gleichem oder entgegengesetztem Sinne durchlaufen werden. Dies findet auch in Bezug auf die Magnetisirung durch den Schliefsungsbogen statt, wie Hankel gezeigt hat. Er wand 27,9 Meter eines 0,23 Mm. dicken Kupferdrathes schraubenförmig auf, und umgab diese Schraube mit einer anderen, in

Digitized by Google

[537] gleichem Sinne gewundenen Drathschraube, die aus 61 Meter desselben Drathes bestand. Die beiden Schrauben wurden durch ihre Enden entweder so verbunden, dafs die Entladung sie in gleicher oder in entgegengesetzter Richtung durchlaufen mufste. Als eine Magnetisirungsspirale in die Drathverbindung einging, erhielten Nadeln der oben bezeichneten Sorte durch verschiedene Elektricitätsmengen folgende Magnetisirung.

	Die Windungen der Schrauben	
	in entgegengesetzter	in gleicher Richtung
	von der Entladung durchlaufen.	
Elektricitätsmenge.	Dauer von 30 Schwing.	Dauer von 30 Schwing.
10	+ 66 Sek.	+ 51"
20	+ 90	− 125
30	− 66	+ 167
40	− 75	+ 88
50	− 85	− 148
60	+ 93	− 99

Der ertheilte Magnetismus war also nach Stärke und Richtung verschieden, je nach der Verbindung der beiden Drathschrauben mit einander. Es folgt hieraus, dafs es für die Magnetisirung nicht gleichgültig ist, ob die einzelnen Theile des Schliefsungsbogens einander nahe stehen oder nicht, also gerade ausgespannt oder in Schraubenform aufgewunden sind.

538 Ueber die Aenderung der Magnetisirung durch Veränderung des Schliefsungsbogens, hat Hankel viele Versuche angestellt, von welchen ich einige herausnehme. Es wurde ein Kupferdrath von 0,23 Mm. Dicke in verschiedener Länge zum Schliefsungsbogen hinzugesetzt; verschiedene Ladungen brachten die folgenden Magnetisirungen der Nähnadeln hervor.

Einschaltung: Kupferdrath 0,2336 Mm. dick.					
Länge:	0 Meter	3,01	6,02	24,10	96,4
Elektricit.-Menge.	Dauer von 30 Schwingungen und magnetische Richtung.				
2	+ 36 Sek.	+ 55	+ 42	+ 55	
4	+ 50	+ 72	+ 40	+ 46	
5	+ 45				+ 31
6	+ 42		+ 45	+ 55	
8	+ 44	+ 45	+ 37	+ 46	
10	+ 70	+ 48	+ 71	+ 40	+ 34

Digitized by Google

Länge:	0 Meter	3,01	6,02	24,10	96,4
Elektricit.-Menge.	Dauer von 30 Schwingungen und magnetische Richtung.				
12	+ 47 Sek.	+ 85	+ 91	+ 47	
14	+ 60	+ 66	+ 58	+ 54	
15	+ 50				+ 46
16	+ 130	+ 131	+ 86	+ 72	
18	— 100	— 85	+ 101	+ 65	
20	+ 280	— 95	+ 224	+ 55	+ 59
22	+ 165	+ 109	— 75	— 137	
24	+ 55	— 130	— 130	— 128	
25	+ 100				+ 76
26	— 67	— 298	— 305	— 72	
28	— 130	+ 192	+ 133	— 89	
30	+ 100	+ 167	+ 81	— 104	+ 195
32	— 110	+ 83	+ 112	— 123	
34	— 86	— 163	+ 76	+ 244	
35	— 180				— 72
36	— 180	+ 145	+ 295	+ 151	
38	+ 60	+ 228	— 155	+ 123	
40	— 92	+ 228	— 82	+ 86	— 161
42		— 152	— 117	+ 97	
44		— 120	+ 110	+ 78	
45					— 77
46		+ 94	— 131	+ 75	
48		+ 170	+ 105	+ 68	
50		— 244	+ 80	+ 65	— 97

[538]

Man sieht in dieser Tafel mit zunehmender Länge des Schliefsungsbogens die Gruppen der Magnetisirungen an Ausdehnung und Regelmäfsigkeit gewinnen, eine Folge davon dafs, je länger der Schliefsungsbogen, desto gröfser die Zeit ist, während welcher die Nadeln der magnetisirenden Einwirkung ausgesetzt sind.

Eine andere Reihe von Magnetisirungen wurde bei Ein- 539
schaltung eines Drathes beobachtet, der dicker als der vorige war und aus Eisen bestand.

Einschaltung: Eisendrath 0,6437 Mm. dick.

Länge:	4,18 Meter	9,83	36,17
Elektricit.-Menge.	Dauer von 30 Schwingungen u. magnetische Richtung.		
2		+ 41 Sek.	
4		+ 53	
5			+ 32
6	+ 47	+ 53	
8	+ 55	+ 39	
10	+ 53	+ 37	+ 61

Digitized by Google

[539]

Länge:	4,18 Meter	9,83	36,17
Elektricit.-Menge.	Dauer von 30 Schwingungen u. magnetische Richtung.		
12	+ 54	+ 43	+ 113
14	+ 43	+ 57	— 199
16	+ 58	+ 107	— 69
18	— 87	— 72	— 90
20	— 105	— 85	— 54
22	— 103	— 143	
24	— 137	+ 130	— 65
26	+ 65		
28	+ 72		— 142
30	+ 78	+ 77	
32	+ 115		— 174
36	— 114	+ 104	+ 98
40		+ 182	+ 78
44	+ 139		+ 59

Die Ausdehnung der Gruppen und die Stärke ihrer Glieder ist sehr verschieden von der in der vorigen Reihe bei Einschaltung von 3,01 6,02 24,1 Meter Kupferdrath, obgleich die Verzögerungswerthe dieser Dräthe von denen der hier gebrauchten Dräthe nicht bedeutend abweichen. (Diese Werthe würden einander gleich sein, wenn vom Eisendrathe die Längen 4 8 und 32 Meter angewendet worden wären). So sehen wir zum Beispiel dieselben Elektricitätsmengen eine an Stärke, oft auch an Richtung, verschiedene Magnetisirung hervorbringen, je nachdem der Kupferdrath von 3,01 Meter Länge oder der ihm beinahe gleichwerthige Eisendrath von 4,18 Meter Länge in den Schliefsungsbogen eingeschaltet war.

540 Aus diesen und anderen von Hankel an verschiedenartigen Dräthen angestellten Versuchsreihen ist zu folgern, dafs Schliefsungsbogen von gleichen Verzögerungswerthen ungleiche Magnetisirungen hervorbringen können, eine Bestätigung und Erweiterung der von Savary gemachten Bemerkung (§. 529.). Diese Bemerkung ist das für die Elektricitätslehre wichtigste Ergebnifs aller Versuche über die Magnetisirung durch den Schliefsungsbogen. Nehmen wir irgend welche Dräthe, deren Länge, Radius und Verzögerungskraft des Metalles durch l r und x bezeichnet werden, und machen wir durch Aenderung der Dimensionen der einzelnen Dräthe $\frac{l_i x_i}{r_i^2} = \frac{l_{ii} x_{ii}}{r_{ii}^2} =$ u. s. w. Jeder dieser Dräthe werde in aufeinanderfolgenden Versuchen

Digitized by Google

zu einem Schliefsungsbogen hinzugesetzt, der ein Luftthermo- [540]
meter und eine Magnetisirungsspirale enthält. Das Thermometer wird durch die Entladung einer Batterie zu demselben Grade erwärmt werden, welcher von den Dräthen auch im Schliefsungsbogen befindlich sein mag, aber eine in der Spirale liegende Nadel wird dabei nicht dieselbe Magnetisirung erfahren. Zwei Entladungsströme also, die, nach den Wärmeerscheinungen beurtheilt, identisch sind, können noch von einander verschieden sein, da sie sonst nicht eine verschiedene Wirkung auf die Nadel haben könnten. — Wir haben bei dem Entladungsstrome Elektricitätsmenge und Zeit der Entladung in Betracht gezogen, da diese allein auf die Erwärmung an einer constanten Stelle des Schliefsungsbogens von Einfluſs sind, die *Art* der Entladung aber nur in so weit berücksichtigt, als die Entladungs*zeit* durch dieselbe geändert wurde (§. 444.). Durch die Magnetisirung wird der Einfluſs der Entladungs*art* für sich auf die Wirkung des Schliefsungsbogens deutlich, und es stellt sich dabei das Merkwürdige heraus, daſs diese Art sich nicht nur ändert bei specifischer Unterbrechung des Bogens, wo wir sie früher kennen lernten, sondern auch bei vollkommener Schliefsung, von einem Metalle zum anderen, von einer Dicke des Drathes zu einer anderen. (§. 650.). Der Verzögerungswerth giebt nur die Abhängigkeit der Entladungszeit von Metall und Dimensionen des Schliefsungsbogens, und es kann also nicht auffallen, daſs er keine Norm für Versuche giebt, bei welchen auch die Art der Entladung von Einfluſs ist.

Die elektrodynamische Wirkung des Schliefsungsbogens.

Jeder Theil des Schliefsungsbogens einer voltaischen Kette 541
wirkt auf einen beweglichen Theil desselben Bogens so ein, daſs er diesem Theile eine Bewegung in bestimmter Richtung ertheilt. Es sei ab (Fig. 105.) ein festgelegtes Stück des Bogens, bc ein bewegliches Stück, das sich in der Ebene des Papieres um den Punkt b drehen kann, und ε der Winkel, den die Stücke mit einander bilden. Geht ein galvanischer Strom

Digitized by Google

[541] durch beide Stücke, so wird bc in Bewegung gesetzt, und der Winkel ε in bestimmtem Sinne geändert, der von der relativen Richtung des Stromes in seinen Schenkeln folgendermafsen abhängig ist. ***Bei gleicher Richtung des Stromes in den Schenkeln*** (das heifst, wenn der Strom in beiden nach der Spitze zu oder von ihr ab geht, wie die Pfeile andeuten) ***wird der Winkel kleiner, bei entgegengesetzter gröfser.*** Zwischen gleichgerichteten Strömen findet Anziehung statt, zwischen entgegengerichteten Abstofsung. Dies nennt man die elektrodynamische Wirkung des Schliefsungsbogens auf sich selbst. Die Richtung der Drehung wird nicht geändert, wenn die beiden Stücke einander kreuzen (Fig. 106.). Fliefst der Strom, wie die Pfeile angeben, so lehrt die eben angeführte Regel, dafs die beiden Winkel $=\varepsilon$ kleiner, die beiden Winkel $=180-\varepsilon$ gröfser werden, das bewegliche Stück bc also nach derselben Seite gedreht wird, wie früher. Ist das Stück bc frei beweglich, so wird durch die elektrodynamische Wirkung der Winkel $\varepsilon=0$, beide Drathstücke stellen sich parallel; bei einer an bc angebrachten Gegenwirkung, die gewöhnlich durch die Aufhängung des Stückes gegeben wird, erhält der Winkel ε einen durch die Stärke des Stromes bestimmten Werth, bei welchem die elektrische und mechanische Wirkung im Gleichgewichte sind.

542 Die elektrodynamische Wirkung findet auch durch einen elektrischen Entladungsstrom statt, nur dafs, bei der kurzen Dauer dieses Stromes, keine feste Ablenkung, sondern, wie bei der Wirkung auf die Magnetnadel, ein momentaner Ausschlag des beweglichen Schliefsungsdrathes hervorgebracht wird, nach welchem der Drath wieder in seine anfängliche Lage zurückkehrt. Auch hier ist die Wirkung durch einen einfachen Schliefsungsdrath nicht merklich zu machen, und man mufs dazu das feste wie das bewegliche Stück des Drathes in eine Menge von Windungen legen. Zugleich ist eine Verbindung des festen mit dem beweglichen Stücke anzubringen, ohne die Bewegung des letzteren zu hemmen. W. Weber hat zu diesen Versuchen ein eigenes Instrument, das ***Elektrodynamometer,*** construirt und mit allen Einzelnheiten beschrieben [1]). Die we-

[1]) Poggend. Ann.* 73. 197.

Digitized by Google

sentlichen Theile des Instrumentes werden nach der folgenden [542]
Beschreibung deutlich sein. Ein 923 Fuſs langer, sehr dünner, mit Seide besponnener Kupferdrath ist um einen hohlen Messingcylinder von 20 Lin. innerer Weite in 900 Windungen gelegt, so daſs er einen Drathring von etwa 15 Lin. Höhe bildet; dieser Ring m (Fig. 107.) ist in einem Gehäuse befestigt, so daſs seine Drathwindungen vertical stehen und die beiden Enden des Drathes in den Klemmen u und u' fest liegen. Von 615 Fuſs desselben Drathes ist ein volles Drathknäuel R mit 1200 parallelen Windungen gewunden, dessen gröſster Durchmesser 16 Lin., dessen Höhe 10 Lin. beträgt, und das in dem Ringe frei beweglich aufgehängt ist. Hierzu ist die Axe des Knäuels an einem elfenbeinernen Rahmen befestigt, der den oberen Theil des Drathringes umfaſst, und an 2 sehr feinen Silberdräthen von $1\frac{1}{2}$ Fuſs Länge aufgehängt ist. Die beiden Drathenden des Knäuels sind an Metallhaken befestigt, welche die oberen Enden der Seitenleisten des Rahmens bilden. Der obere Querbalken besteht in der Mitte aus Elfenbein, an den Enden, mit welchen er die Haken aufnimmt, aus Metall. Werden also die beiden Silberdräthe, die zur Aufhängung dienen, einzeln an einem metallischen Stücke des Querbalkens befestigt, so ist jeder Silberdrath nur mit einem Ende des Drathknäuels in metallischer Verbindung. Das Knäuel R ist so in den Ring m gehängt, daſs die Ebenen der Drathwindungen an beiden vertical und nahe normal auf einander stehen; an dem Rahmen des Knäuels ist ein kleiner Poggendorff'scher Spiegel, durch den, mit Hülfe einer Scale und eines Fernrohres (§. 511), die Bewegung des Knäuels erkannt und gemessen wird. Die beiden Aufhängedräthe sind, nahe ihrer oberen Befestigung in der Aufsatzröhre, um Metallrollen geschlungen, die, wie in der Figur ersichtlich ist, nach Aufsen metallische Fortsätze haben. Die an diesen Fortsätzen befestigten Dräthe gg und $g'g'$ stehen also in leitender Verbindung mit den Silberdräthen und dadurch mit den Enden des Drathes auf dem schwebenden Drathknäuel.

Man verbinde den Drath g' mit der Klemme u', den Drath [543]
g mit der Klemme z, und entlade durch u und z eine elektrische Batterie. Der Entladung ist folgender Weg geöffnet. Von der Klemme u durch alle Windungen des Drathringes

Digitized by Google

[543] m hindurch nach der Klemme u', durch den Drath $g'g'$ in einen der Silberdräthe, diesen hinab durch alle Windungen des schwebenden Drathknäuels nach dem zweiten Silberdrathe, und durch diesen und den Drath gg nach der Klemme z. Das schwebende Knäuel wird hierdurch eine Bewegung nach einer Seite erhalten, da jede Windung des Drathringes mit dem Drathstücke ab, jede des Knäuels mit dem Stücke bc der Fig. 106 zu vergleichen ist. Die Richtung der Bewegung hängt, wie die Regel §. 541 lehrt, nicht von der Richtung des Entladungsstromes, sondern von der Verbindung des Drathringes mit dem Knäuel ab. Hat man also die Bewegung nach Einer Seite durch die in der Figur angedeutete Verbindung hervorgebracht, so erhält man eine Bewegung nach der entgegengesetzten Seite, wenn man den Drath g' in der Klemme z, den Drath g in der Klemme u' befestigt.

544 Bei dem Elektrodynamometer können nur sehr schwache elektrische Entladungsströme angewendet werden, da hier noch mehr, als bei dem Multiplicator, Gelegenheit gegeben ist, dafs die Elektricität den ihr angewiesenen Weg verläfst, und quer durch die Umspinnung der Dräthe oder die anderen isolirenden Theile des Apparates übergeht. Als Weber eine mäfsig geladene Batterie von 8 Quadr.-Fufs Belegung anwendete [1]), war die Einschaltung einer fast 4 Fufs langen, 5,7 Lin. dicken Wassersäule zur Schwächung des Entladungsstromes nicht genügend, es mufste eine feuchte Hanfschnur benutzt werden, um constante Ausschläge am Dynamometer zu bewirken. Das schwebende Drathknäuel erhält durch die elektrodynamische Wirkung einen Stofs, dem die Aufhängung an zwei Dräthen entgegenwirkt. Diese Gegenwirkung ist in jedem Augenblicke dem Sinus des Winkels proportional, den das Knäuel mit seiner Ruhelage bildet; es wird daher, ebenso wie bei einer Magnetnadel (§. 499.), die dem Knäuel ertheilte Winkelgeschwindigkeit durch die Chorde des Winkels gemessen, bis zu welchem das Knäuel fortgetrieben ist. Da indefs an dem Instrumente nur kleine Winkel beobachtet werden können, so kann man statt der Chorde den Ausschlagswinkel selbst setzen.

[1]) Elektrodynamische Maafsbestimmungen.* 84. Seite.

Digitized by Google

Weber hat aus Versuchen mit galvanischen Strömen geschlos- [544]
sen, dafs, wenn die Intensität des elektrischen Entladungsstromes i, die Entladungszeit desselben Z ist, der Ausschlagswinkel ε des Knäuels am Dynamometer proportional mit $i^2 Z$ ist. Wir haben den Ausdruck i im galvanischen Sinne zu nehmen, und dafür $\frac{q}{Z}$ zu setzen (§. 492.). Es wird also

$$\varepsilon = \frac{a q^2}{Z} = \frac{a q^2}{(1 + bV)s}$$

wo q die Elektricitätsmenge in der Batterie, Z die Entladungszeit derselben, V den Verzögerungswerth des Schliefsungsbogens, s die Flaschenzahl der Batterie bedeutet.

Es ist hier auf eine merkwürdige Uebereinstimmung auf- 545
merksam zu machen. Der Werth für ε ist identisch mit dem, welchen ich nach Versuchen für die, durch den Entladungsstrom in einem constanten Stücke des Schliefsungsbogens erregte Wärmemenge gegeben habe (§. 490.). Mit der Gültigkeit jenes Werthes würde daher der folgende Satz bewiesen sein: Die durch elektrodynamische Wirkung einem beweglichen Theile des Schliefsungsbogens ertheilte Winkelgeschwindigkeit ist proportional der Wärmemenge, die durch die Entladung an einer constanten Stelle des Schliefsungsbogens erregt wird. — Zu diesem Satze kann man nicht auf experimentellem Wege gelangen, da die Ausschläge am Dynamometer nur durch abgeschwächte Entladungsströme zu erhalten sind, welche ein Thermometer nicht afficiren.

Weber hat einige wenige Versuche am Dynamometer an- 546
gestellt, welche zur Prüfung des Ausdruckes $\varepsilon = \frac{a q^2}{Z}$ dienen. Es wurde die Elektricitätsmenge q nur wenig, und die Entladungszeit Z nur durch verschiedene Länge einer in den Schliefsungsbogen eingeschalteten Hanfschnur geändert. Die Bestimmung von q geschah durch einen Multiplicator, der gleichzeitig mit dem Dynamometer die Entladung einer Batterie von 16 Quadr.-Fufs Belegung vermittelte. Setzt man nach §. 515 den Ausschlag der Magnetnadel im Multiplicator $e = a_1 q$, so hat man

$$\varepsilon = \frac{a}{a_1^2} \cdot \frac{e^2}{Z} \text{ oder}$$

$$Z = \frac{a}{a_1^2} \cdot \frac{e^2}{\varepsilon} \quad \ldots \quad (A)$$

Digitized by Google

[546] worin a und a_1 von beiden Instrumenten abhängige Constanten bezeichnen. Man kann also aus den gleichzeitig beobachteten Ausschlägen am Multiplicator und Dynamometer die relativen Gröfsen der Entladungszeit berechnen, und diese mit dem früher gefundenen Ausdrucke für Z vergleichen. — Die in den Schliefsungsbogen eingeschaltete Hanfschnur war 3,1 Lin. dick, und wurde vor jedem Versuche mit Wasser befeuchtet. Die Batterie wurde jedesmal zu derselben Divergenz eines mit dem Innern des Schliefsungsbogens verbundenen Quadrantelektroskops geladen. Die Ausschläge sind in Scalentheilen angegeben, deren jeder nahe 17 Sekunden betrug.

Länge der Schnur l	Ausschlag		$\frac{e^2}{\epsilon}$
	e am Multiplicator.	ϵ am Dynamometer.	
2000 Mm.	79,9	65,6	97,3
1000	76,6	153,0	38,3
500	82,3	293,8	23,0
250	87,3	682,0	11,2
250	82,9	609,1	11,3
500	95,6	422,8	21,6
1000	95,8	210,1	43,7
2000	101,5	98,0	105,0

547 Für die Entladungszeit ist früher (§. 436.) der Ausdruck abgeleitet worden $Z = b\left(\frac{1}{b} + V\right)s$, wo s die Flaschenzahl der Batterie, V den Verzögerungswerth des veränderlichen Theiles des Schliefsungsbogens bezeichnet. Nach dem angeführten Paragraphe ist $\frac{1}{b}$ die Länge eines Platindrathes, der für die metallischen Theile des in den obigen Versuchen gebrauchten Schliefsungsbogens, V die Länge desselben Drathes, die für die feuchte Hanfschnur gesetzt werden kann. Nach dem, was wir über die Leitung der Elektricität durch Metall und feuchte Leiter wissen, ist es unzweifelhaft, dafs hier $\frac{1}{b}$ gegen V vernachläfsigt werden kann. Da ferner V nur durch die Länge der Schnur verändert worden, und die Flaschenzahl s unverändert geblieben ist, so kommt $Z = bl$ oder $\frac{Z}{l} = \text{const.}$

Digitized by Google

Aus den Versuchen nehmen wir nach Gleichung (A) für Z [547] die Mittelwerthe von $\frac{e^2}{\varepsilon}$ und vergleichen diese mit den Längen l der Schnur.

l	Z	$\frac{Z}{l}$
1	11,3	11,3
2	22,3	11,1
4	41,0	10,2
8	101,1	12,6

Die Abweichungen der Werthe $\frac{Z}{l}$ vom Mittel lassen sich genügend aus dem verschiedenen Feuchtigkeitszustande der Schnur herleiten. $\frac{Z}{l}$ ist constant, wie es die Formel §. 544 verlangt, die also für die vorliegenden Fälle die Abhängigkeit der Ausschläge des Dynamometers von den Bedingungen des Entladungstromes angiebt.

Weber hat die obigen Versuche benutzt, den absoluten 548
Werth der Entladungszeit der Batterie durch die feuchte Schnur zu bestimmen. Es wurde ein constanter galvanischer Strom durch Multiplicator und Dynamometer geleitet, und dadurch eine feste Ablenkung an beiden Instrumenten erhalten. Mit Hülfe dieser Ablenkungen konnte die Constante $\frac{a}{a'^2}$ (§. 546.) in ein numerisches Verhältnifs zur Schwingungsdauer der Magnetnadel und des schwebenden Drathknäuels gesetzt werden; der Werth der Constante wurde so $\frac{1}{1188}$ Sekunde gefunden. Es ist also $Z = \frac{e^2}{1188\varepsilon}$ Sekunde. Hiernach hatte die längste Entladungszeit bei den obigen Versuchen, die bei Einschaltung von 6 Fufs der feuchten Hanfschnur eintrat, nur 0,085 Sek. gewährt. Diese Zahl ist dem von Wheatstone bei metallischem Schliefsungsbogen ermittelten Werthe der Entladungszeit (§. 401.) nicht vergleichbar, da bei beiden Bestimmungen verschiedene Elektricitätsmengen und Dichtigkeiten gebraucht wurden, über deren Verhältnifs die Angaben fehlen.

Digitized by Google

Tafeln.

Erste Tafel.

Zwei Kugeln in Berührung.

(zu §. 230.)

$$A = \frac{bh}{(1+b)} \int_0^1 \frac{t^{-\frac{1}{1+b}} - 1}{1-t}\, dt \qquad B = \frac{h}{b(1+b)} \int_0^1 \frac{t^{-\frac{b}{1+b}} - 1}{1-t}\, dt$$

$$Y = \frac{b^2 h}{4(1+b)^3} \int_0^1 \frac{t^{-\frac{b}{2(1+b)}} \left(t^{-\frac{1}{1+b}} - 1\right) \text{log.nat.} \frac{1}{t}}{1-t}\, dt$$

$$Z = \frac{h}{4b(1+b)^3} \int_0^1 \frac{t^{-\frac{1}{2(1+b)}} \left(t^{-\frac{b}{1+b}} - 1\right) \text{log.nat.} \frac{1}{t}}{1-t}\, dt$$

	Radius	mittlere Dichtigkeit	Elektricitätsmenge
der gröfseren Kugel	1	A	$1 - E_b$
der kleineren	b	B	E_b

b	$\frac{A}{h}$	$\frac{B}{h}$	$\frac{B}{A} = \beta$	E_b
$1 = 1{,}0000$	0,69315	0,69315	1,00000	0,50000
$\frac{4}{5}$ 0,9333	0,71169	0,72231	1,01492	0,46924
$\frac{3}{4}$ 0,9286	0,71291	0,72464	1,01644	0,46707
$\frac{2}{3}$ 0,9231	0,71447	0,72717	1,01777	0,46444
$\frac{1}{2}$ 0,9166	0,71630	0,73015	1,01932	0,46135
$\frac{10}{11}$ 0,9091	0,71847	0,73369	1,02118	0,45769
$\frac{9}{10}$ 0,9000	0,72108	0,73799	1,02344	0,45325
$\frac{8}{9}$ 0,8889	0,72431	0,74537	1,02908	0,44769
$\frac{7}{8}$ 0,8750	0,72836	0,75007	1,02980	0,44080
$\frac{13}{15}$ 0,8667	0,73081	0,75417	1,03196	0,43668

Digitized by Google

b	$\frac{A}{h}$	$\frac{B}{h}$	$\frac{B}{A}=\beta$	E_b
$\frac{6}{7}=0{,}8571$	0,73336	0,75851	1,03429	0,43179
$\frac{11}{13}$ 0,8461	0,73690	0,76446	1,03740	0,42620
$\frac{5}{6}$ 0,8333	0,74054	0,77068	1,04069	0,41952
$\frac{9}{11}$ 0,8181	0,74512	0,77860	1,04493	0,41157
$\frac{4}{5}$ 0,8000	0,75116	0,78900	1,05037	0,40197
$\frac{11}{14}$ 0,7857	0,75292	0,79248	1,05253	0,39386
$\frac{7}{9}$ 0,7777	0,75780	0,80075	1,05668	0,39004
$\frac{10}{13}$ 0,7692	0,76047	0,80557	1,05917	0,38527
$\frac{3}{4}$ 0,7500	0,76656	0,81642	1,06506	0,37465
$\frac{11}{15}$ 0,7333	0,77186	0,82606	1,07022	0,36529
$\frac{8}{11}$ 0,7272	0,77381	0,82966	1,07219	0,36154
$\frac{5}{7}$ 0,7143	0,77801	0,83743	1,07638	0,35449
$\frac{7}{10}$ 0,7000	0,78267	0,84610	1,08107	0,34628
$\frac{2}{3}$ 0,6666	0,79367	0,86706	1,09247	0,32685
$\frac{9}{14}$ 0,6428	0,80156	0,88282	1,10137	0,31287
$\frac{7}{11}$ 0,6363	0,80385	0,88695	1,10337	0,30882
$\frac{5}{8}$ 0,6250	0,80772	0,89464	1,10761	0,30200
$\frac{8}{13}$ 0,6154	0,81251	0,90521	1,11411	0,29672
$\frac{3}{5}$ 0,6000	0,81629	0,91197	1,11721	0,28683
$\frac{7}{12}$ 0,5833	0,82707	0,92386	1,12282	0,27644
$\frac{4}{7}$ 0,5714	0,82624	0,93260	1,12846	0,26925
$\frac{5}{9}$ 0,5555	0,83180	0,94415	1,13507	0,25944
$\frac{6}{11}$ 0,5454	0,83536	0,95194	1,13955	0,25273
$\frac{7}{13}$ 0,5384	0,83790	0,95759	1,14285	0,24889
$\frac{9}{15}$ 0,5333	0,83968	0,96143	1,14499	0,24563
$\frac{1}{2}$ 0,5000	0,85161	0,98802	1,16017	0,22482
$\frac{7}{15}$ 0,4667	0,86367	1,01601	1,17639	0,20396
$\frac{6}{13}$ 0,4615	0,86554	1,02043	1,17895	0,20069
$\frac{5}{11}$ 0,4545	0,86809	1,02660	1,18259	0,19636
$\frac{4}{9}$ 0,4444	0,87178	1,03476	1,18695	0,18993
$\frac{3}{7}$ 0,4286	0,87759	1,04992	1,19635	0,18044
$\frac{2}{5}$ 0,4000	0,88809	1,07673	1,21241	0,16246
$\frac{5}{13}$ 0,3846	0,89374	1,09419	1,22428	0,15337
$\frac{3}{8}$ 0,3750	0,89728	1,10123	1,22729	0,14717
$\frac{4}{11}$ 0,3636	0,90156	1,11352	1,23510	0,14037
$\frac{5}{14}$ 0,3571	0,90385	1,11847	1,23744	0,13632
$\frac{1}{3}$ 0,3333	0,91257	1,14455	1,25421	0,12231
$\frac{4}{13}$ 0,3077	0,92184	1,17216	1,27154	0,10744
$\frac{3}{10}$ 0,3000	0,92466	1,18132	1,27757	0,10303
$\frac{2}{7}$ 0,2857	0,92978	1,19781	1,28826	0,09515
$\frac{3}{11}$ 0,2727	0,93441	1,21333	1,29849	0,08807
$\frac{1}{4}$ 0,2500	0,94236	1,24094	1,31702	0,07605

Digitized by Google

b	$\frac{A}{h}$	$\frac{B}{h}$	$\frac{B}{A}=\beta$	E_b
$\frac{1}{13}=0{,}2307$	0,94896	1,26534	1,33341	0,06633
$\frac{2}{9}$ 0,2222	0,95184	1,27645	1,34104	0,06210
$\frac{3}{14}$ 0,2143	0,95447	1,28686	1,34851	0,05829
$\frac{1}{5}$ 0,2000	0,95903	1,30339	1,35906	0,05157
$\frac{2}{11}$ 0,1818	0,96491	1,33157	1,37999	0,04362
$\frac{1}{6}$ 0,1616	0,96954	1,35410	1,39664	0,03734
$\frac{2}{13}$ 0,1538	0,97331	1,37282	1,41009	0,03229
$\frac{1}{7}$ 0,1429	0,97641	1,38921	1,42277	0,02821
$\frac{2}{15}$ 0,1333	0,97900	1,40379	1,43389	0,02486
$\frac{1}{8}$ 0,1250	0,98111	1,41206	1,43924	0,02198
$\frac{1}{9}$ 0,1111	0,98465	1,43944	1,46187	0,01772
$\frac{1}{10}$ 0,1000	0,98724	1,45782	1,47666	0,01454
$\frac{1}{11}$ 0,0909	0,98922	1,47317	1,48922	0,01215
$\frac{1}{12}$ 0,0833	0,99075	1,49575	1,50972	0,01037
$\frac{1}{14}$ 0,0714	0,99302	1,50720	1,51778	0,00768
$\frac{1}{15}$ 0,0667	0,99385	1,51579	1,52363	0,00673
$\frac{1}{20}$ 0,0500	0,99640	1,54610	1,55038	0,00385

Digitized by Google

Zweite Tafel.

Zwei Kugeln in Berührung.

(zu §. 231.)

Radius gröfste Dichtigkeit.

der gröfseren Kugel = 1 , Y

der kleineren " = b , Z

b	$\frac{Y}{h}$	$\frac{Z}{h}$	b	$\frac{Y}{h}$	$\frac{Z}{h}$
1 = 1,0000	0,91588	0,91588	$\frac{1}{2}$ = 0,5000	0,97474	1,56260
$\frac{14}{15}$ 0,9333	0,92471	1,02714	$\frac{7}{15}$ 0,4667	0,97973	1,65642
$\frac{13}{14}$ 0,9286	0,93095	1,09750	$\frac{6}{13}$ 0,4615	0,98023	1,64834
$\frac{13}{14}$ 0,9231	0,92423	0,95158	$\frac{5}{11}$ 0,4545	0,98086	1,81280
$\frac{12}{13}$ 0,9166	0,92213	0,98566	$\frac{4}{9}$ 0,4444	0,98175	1,69302
$\frac{10}{11}$ 0,9091	0,92882	1,00724	$\frac{3}{7}$ 0,4286	0,98312	1,72900
$\frac{9}{10}$ 0,9000	0,92939	1,00074	$\frac{2}{5}$ 0,4000	0,98547	1,73751
$\frac{8}{9}$ 0,8889	0,93087	1,01117	$\frac{5}{13}$ 0,3846	0,98666	1,95137
$\frac{7}{8}$ 0,8750	0,93269	1,02441	$\frac{3}{8}$ 0,3750	0,98740	1,87667
$\frac{13}{15}$ 0,8667	0,93379	1,03199	$\frac{4}{11}$ 0,3636	0,98033	1,96564
$\frac{6}{7}$ 0,8571	0,93520	1,04199	$\frac{3}{14}$ 0,3571	0,99517	1,93114
$\frac{11}{13}$ 0,8461	0,93646	1,05297	$\frac{1}{3}$ 0,3333	0,99035	2,00839
$\frac{5}{6}$ 0,8333	0,94253	1,08505	$\frac{4}{13}$ 0,3077	0,99197	2,09811
$\frac{9}{11}$ 0,8181	0,94007	1,08214	$\frac{3}{10}$ 0,3000	0,99244	2,12645
$\frac{4}{5}$ 0,8000	0,94239	1,04332	$\frac{2}{7}$ 0,2857	0,99326	2,18098
$\frac{11}{14}$ 0,7857	0,94435	1,11790	$\frac{3}{11}$ 0,2727	0,99420	2,23280
$\frac{7}{9}$ 0,7777	0,94521	1,12699	$\frac{1}{4}$ 0,2500	0,99511	2,32895
$\frac{10}{13}$ 0,7692	0,94628	1,13661	$\frac{3}{13}$ 0,2307	0,99588	2,51699
$\frac{3}{4}$ 0,7500	0,95034	1,15993	$\frac{2}{9}$ 0,2222	0,99633	2,47105
$\frac{11}{15}$ 0,7333	0,95060	1,28532	$\frac{3}{14}$ 0,2143	0,99665	2,49641
$\frac{8}{11}$ 0,7272	0,95147	1,08888	$\frac{1}{5}$ 0,2000	0,99718	2,56949
$\frac{5}{7}$ 0,7143	0,95305	1,20444	$\frac{2}{11}$ 0,1818	0,99806	2,66826
$\frac{7}{10}$ 0,7000	0,95477	1,22401	$\frac{1}{6}$ 0,1616	0,99823	2,75595
$\frac{2}{3}$ 0,6666	0,95874	1,24467	$\frac{2}{13}$ 0,1538	0,99830	2,83447
$\frac{9}{14}$ 0,6428	0,96147	1,30448	$\frac{1}{7}$ 0,1429	0,99882	2,90615
$\frac{7}{11}$ 0,6363	0,96221	1,31676	$\frac{2}{15}$ 0,1333	0,99902	2,96834
$\frac{5}{8}$ 0,6250	0,96350	1,33351	$\frac{1}{8}$ 0,1250	0,99920	3,02585
$\frac{8}{13}$ 0,6154	0,96458	1,34802	$\frac{1}{9}$ 0,1111	0,99940	3,12646
$\frac{3}{5}$ 0,6000	0,96628	1,39407	$\frac{1}{10}$ 0,1000	0,99955	3,21145
$\frac{7}{12}$ 0,5833	0,96809	1,39096	$\frac{1}{11}$ 0,0909	0,99965	3,28405
$\frac{4}{7}$ 0,5714	0,97183	1,46409	$\frac{1}{12}$ 0,0833	0,99972	3,34681
$\frac{5}{9}$ 0,5555	0,97104	1,45242	$\frac{1}{14}$ 0,0714	0,99982	3,45023
$\frac{6}{11}$ 0,5454	0,97209	1,47138	$\frac{1}{15}$ 0,0667	0,99985	3,49305
$\frac{7}{13}$ 0,5384	0,97284	1,37538	$\frac{1}{20}$ 0,0500	0,99994	3,66106
$\frac{8}{15}$ 0,5333	0,97140	1,49472			

Digitized by Google

Dritte Tafel.

Zwei in Berührung elektrisirte Kugeln von einander entfernt, bis der Berührungspunkt an der kleineren Kugel unelektrisch ist.

(zu §. 232.)

Radius der gröfseren Kugel a, der kleineren b, Entfernung ihrer Centra c.

$\frac{b}{a}$	$\frac{c-a-b}{a}$	$\frac{b}{a}$	$\frac{c-a-b}{a}$
0	0,35048	$\frac{3}{10}$=0,3000	0,36239
$\frac{1}{99}$=0,0101	0,35703	$\frac{1}{3}$ 0,3333	0,36000
$\frac{1}{80}$ 0,0125	0,35843	$\frac{4}{11}$ 0,3636	0,39200
$\frac{1}{60}$ 0,0167	0,36077	$\frac{2}{5}$ 0,4000	0,40418
$\frac{1}{40}$ 0,0250	0,36199	$\frac{6}{13}$ 0,4615	0,50229
$\frac{1}{20}$ 0,0500	0,37400	$\frac{1}{2}$ 0,5000	0,53101
$\frac{1}{10}$ 0,1000	0,39382	$\frac{3}{5}$ 0,6000	0,49547
$\frac{1}{9}$ 0,1111	0,39546	$\frac{5}{8}$ 0,6250	0,47000
$\frac{1}{8}$ 0,1250	0,40326	$\frac{7}{10}$ 0,7000	0,35700
$\frac{1}{7}$ 0,1429	0,40622	$\frac{8}{11}$ 0,7272	0,30241
$\frac{10}{65}$ 0,1538	0,40992	$\frac{4}{5}$ 0,8000	0,20500
$\frac{1}{6}$ 0,1667	0,40365	$\frac{7}{8}$ 0,8750	0,23500
$\frac{10}{55}$ 0,1818	0,40091	$\frac{9}{10}$ 0,9000	0,18500
$\frac{1}{5}$ 0,2000	0,39960	1	0,0
$\frac{1}{4}$ 0,2500	0,39137		

Digitized by Google

Vierte Tafel.

Werthe von $\frac{q^2}{s}$

(zu §. 422.)

s	2	3	4	5	6	7
q						
2	2	1,33	1	0,8	0,67	0,57
3	4,5	3	2,25	1,8	1,5	1,3
4	8	5,33	4	3,2	2,67	2,3
5	12,5	8,33	6,25	5	4,16	3,57
6	18	12	9	7,2	6,0	5,1
7	24,5	16,3	12,2	9,8	8,16	7,0
8	32	21,3	16	12,8	10,7	9,1
9	40,5	27	20,2	16,2	13,5	11,6
10	50	33,3	25	20	16,7	14,3
11	60,5	40,3	30,2	24,2	20,2	17,3
12	72	48	36	28,8	24,0	20,6
13	84,5	56,3	42,2	33,8	28,2	24,1
14	98	65,3	49	39,2	32,7	28
15	112,5	75	56,2	45	37,5	32,1
16	128	85,3	64	51,2	42,7	36,6
17	144,5	96,3	72,2	57,8	48,2	41,3
18	162	108	81	64,8	54	46,3
19	180,5	120,3	90,2	72,2	60,2	51,6
20	200	133,3	100	80	66,6	57,1
21	220,5	147	110,2	88,2	73,5	63
22	242	161,3	121	96,8	80,7	69,1
23	264,5	176,3	132,2	105,8	88,2	75,6
24	288	192	144	115,2	96,0	82,3
25	312,5	208,3	156,2	125	104,2	89,3
26	338	225,3	169	135,2	112,7	96,6
27	364,5	243	182,2	145,8	121,5	104,1
28	392	261,3	196	156,8	130,7	112,0
29	420,5	280,3	210,2	168,2	140,2	120,1
30	450	300	225	180	150	128,6
31	480,5	320,3	240,2	192,2	160,2	137,3
32	512	341,3	256	204,8	170,7	146,3
33	544,5	363	272,2	217,8	181,5	155,6
34	578	385,3	289	231,2	192,6	165,1
35	612,5	408,3	306,2	245	204,2	175
36	648	432	324	259,2	216	185,1
37	684,5	456,3	342,2	273,8	228,2	195,6
38	722	481,3	361	288,8	240,7	206,3
39	760,5	507	380,2	304,2	253,5	217,3
40	800	533,3	400	320	266,7	228,6

Digitized by Google

Nachweisung der Figuren.

Tafel 1.

Figur	Paragr.
1	4
2	7
3	8
4	14
5	16
6	16
7	17
8	17
9	31
10	34
11	36
12	39
13	48
14	49
15	52
16	53
17	54
18	54
18a.	55

Tafel 2.

19	56
20	57
21	59
22	60
23	60
24	61
25	61
26	62

Tafel 3.

27	73
28	75

Tafel 3.

Figur	Paragr.
29	79
30	81
31	84
32	103
33	117
34	124
35	133
36	143
37	144
38	146
39	147
40	149
41	150
42	151

Tafel 4.

43	153
44	153
45	154
46	161
47	168
48	172
49	174
50	177
51	179
52	180
53	185
54	186
55	194
56	194
57	235
58	236
59	239

Tafel 4.

Figur	Paragr.
60	255
61	257

Tafel 5.

62	258
63	261
64	280
64a.	280
65	283
66	284
67	285
68	290
69	297
70	297
71	298
72	306
73	306
74	316
75	330
75a.	330

Tafel 6.

76	344
77	344
78	347
79	348
80	359
81	361
82	363
82a.	363
83	363
84	364
85	365
86	366

Tafel 6.

Figur	Paragr.
87	366
88	366
89	370
90	386
91	389

Tafel 7.

92	391
93	398
94	399
95	399
96	406
97	410
98	410
99	419
100	475
101	502
102	507
103	512
104	511
105	541
106	541
107	542

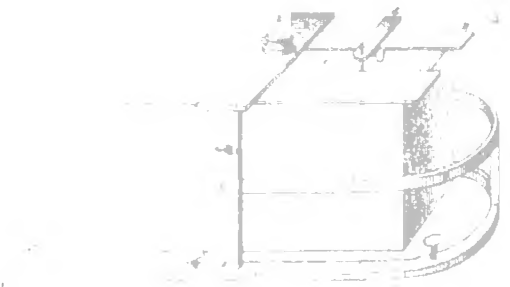
Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Grünstr. 18.

Digitized by Google

Aug. 1 - 18"

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 27. 42

Afinger sc.

Digitized by Google

Digitized by Google

Stinger sc.

Digitized by Google

Fig. 76 – 91.

80.

Ayinger sc.

Digitized by Google

Afinger sc.

Digitized by Google